

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 10 月 23 日 (23.10.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/087719 A1

(51) 国際特許分類⁷: G01C 9/06, H01L 29/84

[JP/JP]; 〒530-8205 大阪府 大阪市 北区堂島浜 1 丁目
2 番 6 号 Osaka (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/04235

(22) 国際出願日: 2003 年 4 月 2 日 (02.04.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-99855 2002 年 4 月 2 日 (02.04.2002) JP
特願2002-214258 2002 年 7 月 23 日 (23.07.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 旭化成株式会社 (ASAHI KASEI KABUSHIKI KAISHA)

(72) 発明者; および

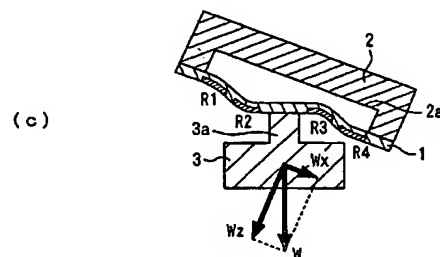
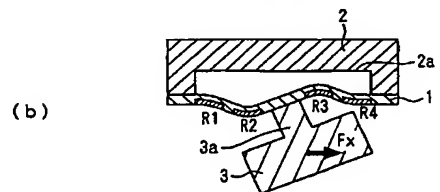
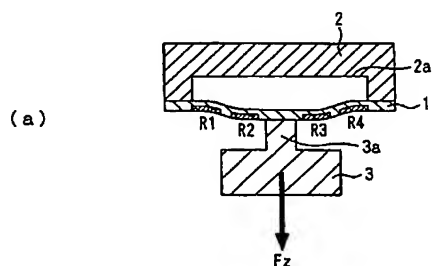
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 疋田 浩一
(HIKIDA, Koichi) [JP/JP]; 〒240-0111 神奈川県 三浦
郡 葉山町一色 2 5 1 2-5-5 1 2 Kanagawa (JP). 山
下 昌哉 (YAMASHITA, Masaya) [JP/JP]; 〒194-0044
東京都 町田市 成瀬 1-7-1 O Tokyo (JP). 金山 裕
一 (KANAYAMA, Yuuichi) [JP/JP]; 〒416-0933 静岡
県 富士市 中丸 1 9 9-1 5 Shizuoka (JP). 福本 博文
(FUKUMOTO, Hirofumi) [JP/JP]; 〒416-0955 静岡県
富士市 川成新町 1 0 8-2 0 3 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 森 哲也, 外 (MORI, Tetsuya et al.); 〒101-0032
東京都 千代田区 岩本町二丁目 3 番 3 号 友泉岩本町
ビル 8 階 日栄国際特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: INCLINATION SENSOR, METHOD OF MANUFACTURING INCLINATION SENSOR, AND METHOD OF MEASURING INCLINATION

(54) 発明の名称: 傾斜角センサ、並びに傾斜角センサの製造方法および傾斜角測定方法



(57) Abstract: An inclination sensor capable of measuring an inclination by utilizing piezo electric effect without selectively etching a substrate having piezoresistances formed therein, wherein the rear surface of the silicon substrate (1) having piezoresistances (R1) to (R4) formed therein is uniformly ground to a deformable thickness, both ends of the silicon substrate (1) are supported by a support member (2), and a weight member (3) is installed at the center of the silicon substrate (1) through a projected part (3a).

(57) 要約: ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ効果を利用して傾斜角を測定することが可能な傾斜角センサを提供する。ピエゾ抵抗 R1~R4 が形成されたシリコン基板 1 の裏面を、挽み可能な厚みまで均一に研削し、支持部材 2 によりシリコン基板 1 の両端を支持するとともに、シリコン基板 1 の中央に凸部 3a を介して錘部材 3 を設ける。



(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

傾斜角センサ、並びに傾斜角センサの製造方法および傾斜角測定方法

5 技術分野

本発明は、傾斜角センサおよびその製造方法に係り、特に、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗効果を利用して傾斜角を測定することが可能な傾斜角センサ、並びに傾斜角センサの製造方法および傾斜角測定方法に関する。

10

背景技術

従来の傾斜角センサとしては、傾斜時の応力に起因するピエゾ抵抗の抵抗変化に基づいて、傾斜角を測定する方法があった。

図76(a)は、従来の傾斜角センサの概略構成を示す斜視図、図76(b)は、従来の傾斜角センサの概略構成を示す断面図、図76(c)は、従来の傾斜角センサのピエゾ抵抗の部分を拡大して示す断面図である。

図76において、シリコン基板201上には、ピエゾ抵抗Rが形成され、ピエゾ抵抗Rの配置領域には、ピエゾ抵抗Rが応力を受け易くするために、シリコン基板201を裏面からエッチングして形成された変位部201cが設けられている。

20

また、シリコン基板201の周囲には、変位部201cを支持するための支持部201aが形成されるとともに、シリコン基板201の中央には、変位部201cを変形させるための錘部201bが形成されている。

ここで、支持部201a、錘部201bおよび変位部201cは、500 μ m程度の厚みのシリコン基板201を、裏面から選択的にエッチングすることにより形成され、支持部201aと錘部201bとの間が変位部201cで架橋されるように構成される。

25

すると、錘部201bにかかる重力によって、図76(c)に示すように、変位部201cが変形し、ピエゾ抵抗Rに応力が加わる。そして、シリコン基板2

01が傾くと、錘部201bにかかる重力の方向が変化し、ピエゾ抵抗Rに加わる応力も変化するので、ピエゾ抵抗Rの抵抗値が変化する。

このため、ピエゾ抵抗Rの抵抗値の変化を検出することにより、傾斜角センサの傾きを求めることができる。

- 5 図77(a)は、従来の傾斜角センサのX、Y方向への加速時における各ピエゾ抵抗の増減を示す図、図77(b)は、従来の傾斜角センサのZ方向への加速時における各ピエゾ抵抗の増減を示す図である。

図77(a)において、傾斜角センサがX、Y方向へ加速されると、X、Y方向への力 F_X 、 F_Y が錘部201bにかかり、錘部201bがX、Y方向に移動しようとする。このため、変位部201cが変形し、ピエゾ抵抗R1、R3には引張応力、ピエゾ抵抗R2、R4には圧縮応力が加わり、これらの応力に従って、
10 ピエゾ抵抗R1～R4の抵抗値が増減する。

一方、図77(b)において、傾斜角センサがZ方向へ加速されると、Z方向への力 F_Z が錘部201bにかかり、錘部201bがZ方向に移動しようとする。
15 このため、変位部201cが変形し、ピエゾ抵抗R2、R3には引張応力、ピエゾ抵抗R1、R4には圧縮応力が加わり、これらの応力に従って、ピエゾ抵抗R1～R4の抵抗値が増減する。

従って、これらのピエゾ抵抗R1～R4からなるホイートストンブリッジ回路を形成することにより、傾斜角センサの傾きを求めることができる。

- 20 また、従来の傾斜角センサとしては、四隅をシリコンのばねで吊るした可動部分を持ち、固定部分との間にコンデンサを形成して、可動部分の移動による容量変化を測定する方法もある。

しかしながら、図76の傾斜角センサでは、変位部201cを形成するために、
500 μ m程度の厚みのシリコン基板を数十 μ m程度にまで選択的にエッチング
25 する必要があり、製造工程が複雑化して、コストアップになるという問題があった。

また、図76の傾斜角センサでは、シリコン基板の裏面を選択的にエッチングして、支持部201a、錘部201bおよび変位部201cが形成されるため、傾斜角センサの構成が複雑化し、傾斜角センサが衝撃に弱くなるという問題もあ

った。

また、シリコンのばねを用いる方法では、ばねおよびコンデンサを $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の微細加工で形成する必要がある、コストアップになるとともに、衝撃にも弱くなるという問題もあった。

- 5 そこで、本発明は、このような従来の技術の有する未解決の課題に着目してなされたものであって、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗効果を利用して傾斜角を測定することが可能な傾斜角センサ、並びに傾斜角センサの製造方法および傾斜角測定方法を提供することを第1の目的としている。また、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチング
- 10 することなく、錘部材を形成することが可能な傾斜角センサ、並びに傾斜角センサの製造方法および傾斜角測定方法を提供することを第2の目的としている。

発明の開示

- 上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第1項記載の傾斜角セン
- 15 サは、表面にピエゾ抵抗が形成され、撓み可能な厚みまで裏面全体が均一に研削された基板と、前記基板の少なくとも一端で前記基板を支持する支持部材とを備える。

- これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面全体を単に研削するだけで、変位部を形成することが可能となり、変位部を形成するために、フォトリソグラフィ
- 20 技術を用いた選択的なエッチングを行なう必要がなくなる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第2項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第
- 25 1項記載の傾斜角センサにおいて、前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域に配置された錘部材をさらに備える。

これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗が形成された基板上に錘部材を設けることができ、傾斜角センサの製造工程の複雑化を抑制しつつ、傾斜角センサの検出感度を向上させることができ

る。

さらに、本発明に係る請求の範囲第3項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第1および第2項のいずれかに記載の傾斜角センサにおいて、前記ピエゾ抵抗は、前記基板の表面に2次元的に配置されている。

- 5 これにより、厚みが均一な基板を用いた場合においても、異なる方向の傾斜角を1つの傾斜角センサで検出することや、ブリッジ回路を構成して検出精度を向上させることが可能となる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第4項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第3項記載の傾斜角センサにおいて、前記ピエゾ抵抗は、前記基板の撓み量を検出
10 するよう前記基板の表面に配置されたピエゾ抵抗と、前記基板の捻れ量を検出するよう前記基板の表面に配置されたピエゾ抵抗とを備える。

- これにより、厚みが均一化された基板を用いた場合においても、同一面上にピエゾ抵抗を配置することで、2軸方向の傾斜角を検出することが可能となり、2軸傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、2軸傾斜角センサのコスト
15 ダウンを図ることが可能となる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第5項記載の傾斜角センサは、変位可能な自由表面を有する6面体短冊形弾性体と、前記6面体短冊形弾性体の同一面上の長手方向に少なくとも2個所以上設けられ、少なくとも1つは前記自由表面上に配置されたピエゾ抵抗と、前記6面体短冊形弾性体の長手方向の両端を支持する支持部材と、前記6面体短冊形弾性体の変位可能領域の長手方向のほぼ中央に設け
20 られた錘部材とを備える。

- これにより、6面体短冊形弾性体に支持部材および錘部材を後付けすることで、傾斜角センサを製造することができ、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングする必要がなくなることから、傾斜角センサの構成および製造工程を簡
25 易化して、傾斜角センサのコストを下げることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第6項記載の傾斜角センサは、変位可能な自由表面を有する6面体短冊形弾性体と、前記6面体短冊形弾性体の同一面上の長手方向に少なくとも2個所以上設けられ、少なくとも1つは前記自由表面上に配

置されたピエゾ抵抗と、前記6面体短冊形弾性体の長手方向の一端を支持する支持部材と、前記6面体短冊形弾性体の長手方向の他端に設けられた錘部材とを備える。

これにより、6面体短冊形弾性体に支持部材および錘部材を後付けすることで、
5 傾斜角センサを製造することが可能となるとともに、支持部材と錘部材との距離を大きくして、検出感度を上げることが可能となり、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げるということが可能となるとともに、傾斜角センサの特性を向上させて、傾斜角センサの小型化を図ることが可能となる。

- 10 さらに、本発明に係る請求の範囲第7項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第5および第6項のいずれかに記載の傾斜角センサにおいて、前記支持部材および前記錘部材の少なくとも一方は、前記6面体短冊形弾性体と長さおよび幅の少なくとも一方が同一である。

- 15 これにより、支持部材または前記錘部材と、6面体短冊形弾性体とを一括して切断することが可能となり、支持部材または前記錘部材と、6面体短冊形弾性体とをウエハ状態のまま貼り合わせ、これらの部材を一体的にペレット化することが可能となることから、傾斜角センサの生産性を向上させて、傾斜角センサのコストを下げるということが可能となる。

- 20 さらに、本発明に係る請求の範囲第8項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第5ないし第7項のいずれかに記載の傾斜角センサにおいて、前記6面体短冊形弾性体はシリコン基板であり、前記ピエゾ抵抗は前記シリコン基板に形成された不純物拡散層である。

- 25 これにより、イオン注入を選択的に行なうだけで、複数のピエゾ抵抗を一括してシリコン基板に形成することができ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げるということが可能となる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第9項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第8項記載の傾斜角センサにおいて、前記6面体短冊形弾性体はシリコン基板であり、前記支持部材は、凹部が形成され、前記シリコン基板と陽極接合可能な材料で構成されたガラス基板と、前記凹部に埋め込まれ、前記シリコン基板との陽極

接合を妨げる埋め込み部材とを備える。

これにより、シリコン基板との間に電圧をかけるだけで、シリコン基板と支持部材とを強固に接合することができ、過酷な環境で使用した場合においても、支持部材がシリコン基板から脱落することを防止することが可能となるとともに、

- 5 接着剤を用いることなく、支持部材とシリコン基板とを接合することが可能となることから、接合時に接着剤がはみ出すことを防止して、高精度の傾斜角センサを容易に製造することができる。

- また、支持部材の表面を平坦化することができ、シリコン基板の裏面に空洞が形成されることを防止することが可能となることから、シリコン基板上に加重が
10 かかったり、シリコン基板に衝撃が加わったりした場合においても、シリコン基板の裏面全体を支持部材で支えることができる。

- このため、シリコン基板上に錘を設ける際のシリコン基板の割れを防止して、傾斜角センサの製造コストを低下させることが可能となるとともに、傾斜角センサの耐衝撃性を向上させて、傾斜角センサの使い勝手を向上させることが可能と
15 なる。

また、6面体短冊形弾性体と支持部材とを接合する場合においても、シリコン基板との間に電圧をかけるだけで、シリコン基板と支持部材とを部分的に接合することができ、シリコン基板と支持部材とが埋め込み部材の位置で離れることを可能とすることができる。

- 20 このため、支持部材の表面を平坦化した場合においても、傾斜角センサの傾きに応じて、シリコン基板に応力を発生させることができ、傾斜角センサとして機能させることができる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第10項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第5ないし第9項のいずれかに記載の傾斜角センサにおいて、前記6面体短冊形
25 弾性体の同一平面上に、前記6面体短冊形弾性体の撓み量を検出するよう配置されたピエゾ抵抗と、前記6面体短冊形弾性体の捻れ量を検出するよう配置されたピエゾ抵抗とを備える。

これにより、6面体短冊形弾性体の2軸方向の撓み量を検出することが可能となり、厚みが均一な基板を用いた場合においても、2軸方向の傾斜角を検出する

ことが可能となるとともに、ピエゾ抵抗をブリッジ回路構成として、傾斜角の検出精度を向上させることが可能となる。

- 一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第 1 1 項記載の傾斜角センサの製造方法は、ウエハ表面上に 2 個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域が前記凹部の両側で支えられるように、前記ウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程とを備える。
- 10 これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を形成することが可能となるとともに、支持基板の貼り合わせを 1 回行なうだけで、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を複数のチップに対して一括して形成することができ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げることが可能となる。
- 15 さらに、本発明に係る請求の範囲第 1 2 項記載の傾斜角センサの製造方法は、請求の範囲第 1 1 項記載の傾斜角センサの製造方法において、凸部の形成された錘基板を、前記凸部が前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域のほぼ中央に配置されるように、前記ウエハの表面に貼り合わせる工程をさらに備え、前記錘基板、前記ウエハおよび前記支持基板は、チップ状に一括して切断される。
- 20 これにより、錘基板の貼り合わせを 1 回行なうだけで、ピエゾ抵抗を変形させるための錘を複数のチップに対して一括して形成することができ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストをより一層下げることが可能となる。
- さらに、本発明に係る請求の範囲第 1 3 項記載の傾斜角センサの製造方法は、
- 25 ウエハ表面上に 2 個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域のほぼ中央に台座を配置する工程と、前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域が前記凹部の両側で支えられるよ

うに、前記台座が配置されたウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程と、前記台座上に錘部材を配置する工程とを備える。

- これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を形成することが可能となるとともに、支持
- 5 基板の貼り合わせを1回行なうだけで、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を複数のチップに対して一括して形成することができ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、錘部材を大きくして検出感度を向上させたり、各チップごとに錘部材の配置位置を調整することが可能となる。

- 10 さらに、本発明に係る請求の範囲第14項記載の傾斜角センサの製造方法は、ウエハ表面上に2個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、凹部の形成された支持基板を、前記凹部の一方の位置が前記ピエゾ抵抗形成領域のエッジ近傍で前記凹部の内側であり、前記凹部の
- 15 他方が前記ウエハのスクライブラインにかかるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域に台座を配置する工程と、前記ピエゾ抵抗形成面が前記凹部の片側で支えられるように、前記台座が配置されたウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程と、前記台座上に錘部材を配置する工程とを備える。

- これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板を選択的にエッチングすることなく、
- 20 ピエゾ抵抗を支持するための支持部を形成することが可能となるとともに、支持基板の貼り合わせを1回行なうだけで、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を複数のチップに対して一括して形成することができ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、支持基板と錘部材との間の距離を大きくして、検出感度を向上させることが可能となる。

- 25 さらに、本発明に係る請求の範囲第15項記載の傾斜角センサの製造方法は、ウエハ表面上に2個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、凸凹の形成された錘基板を、凸部が2チップ間隔でスクライブライ

ンに跨るように、前記ウエハの表面に貼り合わせる工程と、前記錘基板の凹部の一部を前記スクライプラインと平行に切り落とす工程と、前記ピエゾ抵抗形成面の一端が前記支持基板の凹部の片側で支えられるとともに、前記錘基板の凸部が前記ピエゾ抵抗形成面に配置されるように、前記錘基板、前記ウエハおよび前記

5 支持基板を一括してチップ状に切断する工程とを備える。

これにより、片持ち型の傾斜角センサを製造する場合においても、ピエゾ抵抗を支持するための支持部のみならず、ピエゾ抵抗に応力を加える錘部材も、複数のチップに対して一括して形成することができ、傾斜角センサの検出感度を向上させつつ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げ

10 ることが可能となる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第16項記載の傾斜角センサの製造方法は、請求の範囲第11ないし第15項のいずれかに記載の傾斜角センサの製造方法において、前記研削は、研磨またはエッチング、あるいはそれらの組み合わせである。

15 これにより、研削時間を低減しつつ、基板の厚み制御を制度良く行なうことが可能となる。

一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第17項記載の傾斜角センサは、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された金属錘

20 部材とを備える。

これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓み可能な状態でピエゾ抵抗を支持することが可能となるとともに、撓み板上に錘部材を設けた場合においても、錘部材の比重が大きくなるので、錘部材の体積の増大を抑制しつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性を

25 とることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第18項記載の傾斜角センサは、絶縁層上に

シリコン層が形成されたSOI基板と、前記シリコン層下の絶縁層に形成された隙間領域と、前記隙間領域上の前記シリコン層に形成されたピエゾ抵抗と、前記隙間領域上の前記シリコン層上に配置された金属錘部材とを備える。

- これにより、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチングすることなく、錘部材を設けることが可能となるとともに、ピエゾ抵抗に応力が加わるように、ピエゾ抵抗が形成されたシリコン層を支持する場合においても、シリコン層を薄板化した後に、シリコン層を支持部材に貼り合わせる必要がなくなる。

- このため、支持部材に貼り合わせるための強度を確保するために、シリコン層の厚みを厚くする必要がなくなることから、シリコン層を効率よく撓ませて、ピエゾ抵抗に効率よく応力がかかるようにすることが可能となるとともに、傾斜角センサの構成を簡易化して、衝撃に対する耐性も容易に向上させることが可能となる。

- さらに、シリコン層上に配置される錘部材の比重を大きくすることが可能となることから、錘部材の大きさを小さくして、傾斜角センサの小型化を図ることが可能となる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第19項記載の傾斜角センサは、請求の範囲第17および第18項のいずれかに記載の傾斜角センサにおいて、前記撓み板または前記シリコン層は、前記ピエゾ抵抗の形成領域にかけてくびれている。

- これにより、撓み板の厚みを均一化した場合においても、撓み板を効率よく撓ませることが可能となり、傾斜角センサの小型・低コスト化を図りつつ、傾斜角センサの検出精度を容易に向上させることが可能となる。

- 一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第20項記載の傾斜角センサの製造方法は、ウェハ表面上の各チップ領域にピエゾ抵抗を2箇所以上形成する工程と、前記ウェハ表面上の各チップ領域にパッドを形成する工程と、前記ピエゾ抵抗およびパッドが形成されたウェハの裏面全体を均一に研削する工程と、凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が前記凹部エッジ近傍に位置するとともに、前記パッドが前記凹部内側に位置するように、前記ウェハの裏面に貼り合わせる工程と、前記支持基板に貼り合わされた前記ウェハの各パッド上に金属錘部材を形成する工程と、前記ピエゾ抵抗の形成領域がくび

れるように、前記ウェハに開口部を形成する工程と、前記開口部が形成されたウェハをチップ状に切断する工程とを備える。

- これにより、ピエゾ抵抗が形成されたウェハの裏面を選択的にエッチングすることなく、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を形成することが可能となるとともに、ウェハと支持基板の貼り合わせを1回行なうだけで、ピエゾ抵抗を支持するための支持部を複数のチップに対して一括して形成することができる。

- また、ピエゾ抵抗が形成されたウェハの裏面を選択的にエッチングすることなく、比重の大きな錘部材をウェハ上に形成することが可能となるとともに、ピエゾ抵抗の形成領域にくびれを設けることが可能となり、ウェハの厚みを均一化したまま、ピエゾ抵抗の形成領域を効率よく撓ませることが可能となる。

このため、錘部材の小型化を図りつつ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、傾斜角センサの検出精度を容易に向上させることが可能となる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第21項記載の傾斜角センサの製造方法は、シリコン酸化膜を介してシリコンウェハ上に形成されたシリコン層上の各チップ領域にピエゾ抵抗を2箇所以上形成する工程と、前記シリコン層上の各チップ領域にパッドを形成する工程と、前記シリコン層上に形成された各パッド上に金属錘部材を形成する工程と、前記ピエゾ抵抗の形成領域がくびれるように、前記シリコン層に開口部を形成する工程と、前記シリコン層に形成された開口部を介して前記シリコン酸化膜の一部をエッチングすることにより、前記ピエゾ抵抗の形成領域下および前記金属錘部材の形成領域下の前記シリコン酸化膜を除去する工程と、前記シリコン酸化膜が除去されたウェハをチップ状に切断する工程とを備える。

- これにより、薄板化されたシリコン層を支持部材に貼り合わせることなく、薄板化されたシリコン層を支持することが可能となり、ピエゾ抵抗が形成されたシリコン層を効率よく撓ませることが可能となる。

また、ピエゾ抵抗が形成されたウェハの裏面を選択的にエッチングすることなく、比重の大きな錘部材をウェハ上に形成することが可能となり、錘部材の小型化を図りつつ、錘部材を容易に形成することが可能となる。

このため、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、傾斜角センサの検出精度を容易に向上させることが可能となる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第22項記載の傾斜角センサの製造方法は、
- 5 請求の範囲第20および第21項のいずれかに記載の傾斜角センサの製造方法において、前記金属錘部材の形成は、電解メッキである。

これにより、錘部材をウェハから剥がれにくくすることができ、衝撃に対する耐性を向上させることが可能となる。

- また、比重の大きな錘部材を複数のチップに対して一括して形成することが可能となり、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、コストを下げることも可能となる。
- 10

- 一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第23項記載の傾斜角センサは、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサであって、前記ピエゾ抵抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の中点を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群と、前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線を軸として線対称の位置に配置されかつ前記第1ピエゾ抵抗群とは異なる位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有し、前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第2ピエゾ抵抗群により第2フルブリッジ回路を構成し、さらに、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出手段と、前記第2フルブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出手段で算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出手段とを備える。
- 15
- 20
- 25

このような構成であれば、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓みおよびねじれ可能な状態でピエゾ抵抗を支持することが可能となるとともに、撓み板上に錘部材を設けた場合においても、錘部材の比重が大きくなるので、錘部材の体積の増大を抑制しつつ、既存のフリップチップ

実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

- 5 さらに、傾斜角センサを撓み板の長手方向回りに傾斜させると、錘部材の重力方向が変化して変位可能領域にねじりモーメントが発生し、撓み板がねじれる。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第1フルブリッジ回路の出力も変化する。第1フルブリッジ回路の出力は、ねじれモーメントにより生じる応力に応じて変化する。また、ねじれモーメントにより生じる応力は、長手方向を回転軸とする傾斜角の正弦値に比例する。したがって、第1傾斜角算出手段により、第1フルブリッジ回路の出力に基づいて長手方向を回転軸とする傾斜角を算出することができる。
- 10

- また、傾斜角センサを撓み板の長手方向または短手方向回りに傾斜させると、錘部材の重力方向が変化して変位可能領域に曲げモーメントが発生し、撓み板が撓む。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第2フルブリッジ回路の出力も変化する。第2フルブリッジ回路の出力は、曲げモーメントにより生じる応力に応じて変化する。また、曲げモーメントにより生じる応力は、長手方向を回転軸とする傾斜角の余弦値と短手方向を回転軸とする傾斜角の余弦値の積に比例する。したがって、第2傾斜角算出手段により、第2フルブリッジ回路の出力および算出された長手方向を回転軸とする傾斜角に基づいて短手方向を回転軸とする傾斜角を算出することができる。
- 15
- 20

- さらに、本発明に係る請求の範囲第24項記載の傾斜角センサは、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサであって、前記ピエゾ抵抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群と、前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線上に配置された複数のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有し、前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第2ピエゾ抵抗群により第
- 25

- 2 ハーフブリッジ回路を構成し、さらに、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出手段と、前記第2ハーフブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出手段で算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出手段とを備える。

- このような構成であれば、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓みおよびねじれ可能な状態でピエゾ抵抗を支持することが可能となるとともに、撓み板上に錘部材を設けた場合においても、錘部材の比重が大きくなるので、錘部材の体積の増大を抑制しつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

- さらに、傾斜角センサを撓み板の長手方向回りに傾斜させると、錘部材の重力方向が変化して変位可能領域にねじりモーメントが発生し、撓み板がねじれる。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第1フルブリッジ回路の出力も変化する。第1フルブリッジ回路の出力は、ねじれモーメントにより生じる応力に応じて変化する。また、ねじれモーメントにより生じる応力は、長手方向を回転軸とする傾斜角の正弦値に比例する。したがって、第1傾斜角算出手段により、第1フルブリッジ回路の出力に基づいて長手方向を回転軸とする傾斜角を算出することができる。

- また、傾斜角センサを撓み板の長手方向または短手方向回りに傾斜させると、錘部材の重力方向が変化して変位可能領域に曲げモーメントが発生し、撓み板が撓む。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第2ハーフブリッジ回路の出力も変化する。第2ハーフブリッジ回路の出力は、曲げモーメントにより生じる応力に応じて変化する。また、曲げモーメントにより生じる応力は、長手方向を回転軸とする傾斜角の余弦値と短手方向を回転軸とする傾斜角の余弦値の積に比例する。したがって、第2傾斜角算出手段により、第2ハーフブリッジ回路の出力および算出された長手方向を回転軸とする傾斜角に基づいて短

手方向を回転軸とする傾斜角を算出することができる。

- さらに、本発明に係る請求の範囲第 25 項記載の傾斜角センサは、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサで
- 5 あって、前記ピエゾ抵抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の中心線を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された 2 対のピエゾ抵抗を含む第 1 ピエゾ抵抗群を有し、前記第 1 ピエゾ抵抗群により第 1 フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第 1 ピエゾ抵抗群により前記第 1 フルブリッジ回路とは接続が異なる第 2 フルブリッジ回路を構成し、さらに、前記第 1 フルブリッジ回
- 10 路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第 1 傾斜角算出手段と、前記第 2 フルブリッジ回路の出力および前記第 1 傾斜角算出手段で算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第 2 傾斜角算出手段とを備える。

- このような構成であれば、ピエゾ抵抗が形成された基板の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓みおよびねじれ可能な状態でピエゾ抵抗を支持することが可能となるとともに、撓み板上に錘部材を設けた場合においても、錘部材の比重が大きくなるので、錘部材の体積の増大を抑制しつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。
- 15

- このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。
- 20

- さらに、傾斜角センサを撓み板の長手方向回りに傾斜させると、錘部材の重力方向が変化して変位可能領域にねじりモーメントが発生し、撓み板がねじれる。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第 1 フルブリッジ回路の出力も変化する。第 1 フルブリッジ回路の出力は、ねじれモーメントにより生じる応力に応じて変化する。また、ねじれモーメントにより生じる応力は、長手方向を回転軸とする傾斜角の正弦値に比例する。したがって、第 1 傾斜角算出手段により、第 1 フルブリッジ回路の出力に基づいて長手方向を回転軸とする傾斜角を算出することができる。
- 25

また、傾斜角センサを撓み板の長手方向または短手方向回りに傾斜させると、
錘部材の重力方向が変化して変位可能領域に曲げモーメントが発生し、撓み板が
撓む。これにより、各ピエゾ抵抗の抵抗値が変化し、これに伴って第2フルブリ
5 ッジ回路の出力も変化する。第2フルブリッジ回路の出力は、曲げモーメントに
より生じる応力に応じて変化する。また、曲げモーメントにより生じる応力は、
長手方向を回転軸とする傾斜角の余弦値と短手方向を回転軸とする傾斜角の余弦
値の積に比例する。したがって、第2傾斜角算出手段により、第2フルブリッジ
回路の出力および算出された長手方向を回転軸とする傾斜角に基づいて短手方向
を回転軸とする傾斜角を算出することができる。

- 10 一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第26項記載の傾
斜角測定方法は、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で
前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部
材とを備え、前記ピエゾ抵抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の
幅の中点を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を
15 含む第1ピエゾ抵抗群と、前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線を軸とし
て線対称の位置に配置されかつ前記第1ピエゾ抵抗群とは異なる位置に配置され
た2対のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有する傾斜角センサを用いて傾
斜角を測定する方法であって、前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回
路を構成し出力する第1ブリッジ回路出力ステップと、前記第2ピエゾ抵抗群に
20 より第2フルブリッジ回路を構成し出力する第2ブリッジ回路出力ステップと、
前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とす
る傾斜角を算出する第1傾斜角算出ステップと、前記第2フルブリッジ回路の出
力および前記第1傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の
短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出ステップとを含む。

- 25 さらに、本発明に係る請求の範囲第27項記載の傾斜角測定方法は、表面にピ
エゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持
部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備え、前記ピエゾ抵
抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の中点を通る中心線を軸
として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群と、

- 前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線上に配置された複数のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有する傾斜角センサを用いて傾斜角を測定する方法であって、前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成し出力する第1ブリッジ回路出力ステップと、前記第2ピエゾ抵抗群により第2ハーフブリッジ回路を構成し出力する第2ブリッジ回路出力ステップと、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出ステップと、前記第2ハーフブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出ステップとを含む。
- 10 さらに、本発明に係る請求の範囲第28項記載の傾斜角測定方法は、表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備え、前記ピエゾ抵抗は、前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群を有する傾斜角センサを用いて傾斜角を測定する方法であって、前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成し出力する第1ブリッジ回路出力ステップと、前記第1ピエゾ抵抗群により前記第1フルブリッジ回路とは接続が異なる第2フルブリッジ回路を構成し出力する第2ブリッジ回路出力ステップと、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出ステップと、前記第2フルブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出ステップとを含む。
- 20 一方、本発明に係る請求の範囲第29項記載の方位角センサは、請求の範囲第1項ないし第10項、請求の範囲第17項ないし第19項、または請求項第23項ないし第25項記載の傾斜角センサと、互いに直交する方向の地磁気成分を検出する2軸以上の地磁気検出手段と、前記傾斜角センサで取得した傾斜角データおよび前記地磁気検出手段で取得した地磁気データに基づいて方位角を算出する方位角算出手段とを有する。

これにより、方位角センサの大型化およびコストアップを抑えつつ、方位角セ

ンサを水平面に置くことなく方位角を比較的正確に計測することが可能となる。

一方、本発明に係る請求の範囲第 30 項記載の携帯電話は、請求の範囲第 29 項記載の方位角センサを内蔵している。

- 5 これにより、携帯電話の大型化およびコストアップを抑えつつ、携帯電話を水平に保つことなくユーザーが普段使う姿勢のままで方位角を比較的正確に計測することが可能となる。

図面の簡単な説明

- 図 1 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す断面図である。
- 10 図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 4 (a) は、本発明の第 1 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図 4 (b) は、本発明の第 1 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。図 5 (a) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る
- 15 錘ウェハの構成を示す断面図、図 5 (b) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す平面図である。

- 図 6 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 8 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 9 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 10 (a) は、本発明の第 3 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図 10 (b) は、本発明の第 3 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。
- 20

- 図 11 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 12 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 13 は、本発明の第 4 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す断面図である。図 14 は、本発明の第 5 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 15 は、本発明の第 5 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 16 (a) は、本発明の
- 25

第5の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図16(b)は、本発明の第5の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。

図17(a)は、本発明の第5の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す断面図、図17(b)は、本発明の第5の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す平面図である。図18は、本発明の第5の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図19(a)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサの概略構成を示す斜視図、図19(b)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサのシリコン基板表面の構成を示す平面図である。

図20は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す斜視図である。図21は、図19(b)のピエゾ抵抗R11、R12の結線構成を示す回路図である。図22(a)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す斜視図、図22(b)および図22(c)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す断面図である。図23は、図19(b)のピエゾ抵抗R23～R26の結線構成を示す回路図である。図24(a)は、本発明の第7の実施の形態に係る傾斜角センサの概略構成を示す断面図、図24(b)は、本発明の第7の実施の形態に係る傾斜角センサのシリコン基板表面の構成を示す平面図である。

図25は、図24(b)のピエゾ抵抗R21、R22、R27、R28の結線構成を示す回路図である。図26は、図24(b)のピエゾ抵抗R23～R26の結線構成を示す回路図である。図27(a)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図、図27(b)は、図27(a)のA1-A1線で切断した断面図である。図28(a)、(b)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す断面図、図28(c)は、図27(a)のピエゾ抵抗R1、R2の結線構成を示す回路図である。

図29(a)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図29(b)は、図29(a)のA2-A2線で切断した断面図である。図30(a)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図30(b)は、図30(a)のA3-A3線で切断した断面図である。図31(a)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの製

造工程を示す平面図、図 3 1 (b) , (c) は、図 3 1 (a) の A 4 - A 4 線で切断した断面図である。

図 3 2 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 3 2 (b) は、図 3 2 (a) の A 5 - A 5 線で切断した断面図である。図 3 3 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 3 3 (b) は、図 3 3 (a) の A 6 - A 6 線で切断した断面図である。図 3 4 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 3 4 (b) は、図 3 4 (a) の A 7 - A 7 線で切断した断面図である。

10 図 3 5 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 3 5 (b) は、図 3 5 (a) の A 8 - A 8 線で切断した断面図である。図 3 6 は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。図 3 7 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの半田バンプの製造工程の一例を示す断面図である。図 3 8 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの半田バンプの製造工程の一例を示す断面図である。

図 3 9 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの半田バンプの製造工程の一例を示す断面図である。図 4 0 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図、図 4 0 (b) は、図 4 0 (a) の B 1 - B 1 線で切断した断面図である。図 4 1 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 1 (b) は、図 4 1 (a) の B 2 - B 2 線で切断した断面図である。図 4 2 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 2 (b) は、図 4 2 (a) の B 3 - B 3 線で切断した断面図である。

図 4 3 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 3 (b) は、図 4 3 (a) の B 4 - B 4 線で切断した断面図である。図 4 4 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 4 (b) は、図 4 4 (a) の B 5 - B 5 線で切断した断面図である。図 4 5 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 5 (b) は、図 4 5 (a) の B 6 - B 6 線で切断した

断面図である。

図 4 6 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 6 (b) は、図 4 6 (a) の B 7 - B 7 線で切断した断面図である。図 4 7 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図 4 7 (b) は、図 4 7 (a) の B 8 - B 8 線で切断した断面図である。図 4 8 は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。

図 4 9 (a) は、本発明の第 1 0 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図であり、図 4 9 (b) は、図 4 9 (a) の A 1 - A 1 線で切断した断面図である。図 5 0 (a) は、シリコン基板 1 0 2 を長手方向に切断した断面から見たときの傾斜角センサの座標系を定義した図であり、図 5 0 (b) は、シリコン基板 1 0 2 を短手方向に切断した断面から見たときの傾斜角センサの座標系を定義した図である。

図 5 1 (a) は、ピエゾ抵抗 R 1 1、R 1 2、R 1 3 および R 1 4 の結線構成を示す回路図であり、図 5 1 (b) は、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2、R 2 3 および R 2 4 の結線構成を示す回路図である。図 5 2 は、シリコン基板 1 0 2 およびピエゾ抵抗の寸法条件を示す図である。図 5 3 (a) は、ピエゾ抵抗 R 1 1、R 1 2、R 1 3 および R 1 4 の結線構成を示す回路図であり、図 5 3 (b) は、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2、R 2 3 および R 2 4 の結線構成を示す回路図である。

図 5 4 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 1$ の変化を示すグラフであり、図 5 4 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 1$ の変化を示すグラフである。図 5 5 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 2$ の変化を示すグラフであり、図 5 5 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 2$ の変化を示すグラフである。

図 5 6 は、本発明の第 1 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図である。図 5 7 (a) は、ピエゾ抵抗 R 3 1、R 3 2、R 3 3 および R 3 4 の結線構成を示す回路図であり、図 5 7 (b) は、ピエゾ抵抗 R 4 1 および R 4 2 の結線構成を示す回路図である。図 5 8 は、シリコン基板 1 0 2 およびピエゾ抵

抗の寸法条件を示す図である。

図 5 9 (a) は、ピエゾ抵抗 R 3 1、R 3 2、R 3 3 および R 3 4 の結線構成を示す回路図であり、図 5 9 (b) は、ピエゾ抵抗 R 4 1 および R 4 2 の結線構成を示す回路図である。図 6 0 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 3$ の変化を示すグラフであり、図 6 0 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 3$ の変化を示すグラフである。

図 6 1 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 4$ の変化を示すグラフであり、図 6 1 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 4$ の変化を示すグラフである。図 6 2 は、本発明の第 1 2 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図である。

図 6 3 (a) は、ピエゾ抵抗 R 5 1、R 5 2、R 5 3 および R 5 4 の結線構成を示す回路図であり、図 6 3 (b) は、ピエゾ抵抗 R 5 1、R 5 2、R 5 3 および R 5 4 の他の結線構成を示す回路図である。図 6 4 は、シリコン基板 1 0 2 およびピエゾ抵抗の寸法条件を示す図である。図 6 5 (a) は、ピエゾ抵抗 R 5 1、R 5 2、R 5 3 および R 5 4 の結線構成を示す回路図であり、図 6 5 (b) は、ピエゾ抵抗 R 5 1、R 5 2、R 5 3 および R 5 4 の他の結線構成を示す回路図である。

図 6 6 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 5$ の変化を示すグラフであり、図 6 6 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 5$ の変化を示すグラフである。図 6 7 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 6$ の変化を示すグラフであり、図 6 7 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 6$ の変化を示すグラフである。

図 6 8 (a) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 $V_o 5$ の変化を各材質ごとに示すグラフであり、図 6 8 (b) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 $V_o 5$ の変化を各材質ごとに示すグラフである。図 6 9 (a) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた

場合において傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_o6 の変化を各材質ごとに示すグラフであり、図 69 (b) は、錘部材 104 の材質を変化させた場合において傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_o6 の変化を各材質ごとに示すグラフである。

- 5 図 70 は、本発明に係る方位角センサの構成を示すブロック図であり、図 71 は、ピエゾ抵抗 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} および R_{14} の配置を示す図であり、図 72 は、ピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} および R_{24} の配置を示す図である。図 73 は、ピエゾ抵抗 R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} および R_{34} の配置を示す図であり、図 74 は、ピエゾ抵抗 R_{41} および R_{42} の配置を示す図であり、図 75 は、
- 10 ピエゾ抵抗 R_{51} 、 R_{52} 、 R_{53} および R_{54} の配置を示す図である。

- 図 76 (a) は、従来の傾斜角センサの概略構成を示す斜視図、図 76 (b) は、従来の傾斜角センサの概略構成を示す断面図、図 76 (c) は、従来の傾斜角センサのピエゾ抵抗の部分を拡大して示す断面図である。図 77 (a) は、従来の傾斜角センサの X、Y 方向への加速時における各ピエゾ抵抗の増減を示す図、
- 15 図 77 (b) は、従来の傾斜角センサの Z 方向への加速時における各ピエゾ抵抗の増減を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

〔第 1 の実施の形態〕

- 20 以下、本発明の第 1 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 1 ないし図 6 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 1 の実施の形態を示す図である。

- 図 1 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す断面図である。なお、図 1 の実施の形態では、両持ち型の傾斜角センサであって、シリコン基板
- 25 1 上にピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ を 4 個設けた構成を示す。

図 1 において、シリコン基板 1 の表面上には、ピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ が形成されるとともに、撓み可能な厚みまで裏面が均一に研削され、シリコン基板 1 の中央には、凸部 3a を介して錘部材 3 が設けられている。

また、シリコン基板 1 の裏面には、凹部 2a を有する支持部材 2 が設けられ、

支持部材 2 によりシリコン基板 1 の両端が支持されている。

これにより、ピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ の形成面の変位可能領域が形成される。

そして、図 1 (a) において、傾斜角センサが Z 方向への重力の分力を受けると、Z 方向への力 F_Z が錘部材 3 にかかり、錘部材 3 が Z 方向に移動しようとする。

ここで、シリコン基板 1 は、撓み可能な厚みまで裏面が均一に研削され、シリコン基板 1 の裏面には凹部 2 a が設けられているので、シリコン基板 1 が変形し、ピエゾ抵抗 R_1 、 R_4 には圧縮応力、ピエゾ抵抗 R_2 、 R_3 には引張応力が加わる。そして、これらの応力に従って、ピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ の抵抗値が増減する。

また、図 1 (b) において、傾斜角センサが X 方向への重力の分力を受けると、X 方向への力 F_X が錘部材 3 にかかり、錘部材 3 が X 方向に移動しようとする。このため、シリコン基板 1 が変形し、ピエゾ抵抗 R_1 、 R_3 には圧縮応力、ピエゾ抵抗 R_2 、 R_4 には引張応力が加わり、これらの応力に従って、ピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ の抵抗値が増減する。

一方、図 1 (c) において、傾斜角センサが傾くと、錘部材 3 は鉛直方向に重力 W で引っ張られるため、シリコン基板 1 の平行方向に力成分 W_X がかかり、シリコン基板 1 の垂直方向に力成分 W_Z がかかる。このため、シリコン基板 1 が変形し、ピエゾ抵抗 R_2 、 R_4 には引張応力、ピエゾ抵抗 R_1 、 R_3 には圧縮応力が加わり、これらの応力に従って、ピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ の抵抗値が増減する。

従って、これらのピエゾ抵抗 $R_1 \sim R_4$ からなるホイートストンブリッジ回路を形成することにより、傾斜角センサの傾きを求めることができる。

このように、裏面を撓み可能な厚みまで均一に研削し、凹部 2 a を有する支持部材 2 によりシリコン基板 1 の両端を支えることにより、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

なお、シリコン基板 1 は 6 面体短冊形状を有し、シリコン基板 1 の長さの幅の比率が 4 倍以上 40 倍以下で、厚さが $20 \mu m$ 以上 $200 \mu m$ 以下であることが好ましい。

これにより、シリコン基板 1 を変位部としてそのまま用いた場合においても、

必要な検出感度を得ることが可能となるとともに、支持部材 2 および錘部材 3 をシリコン基板 1 に結合させるために必要な強度を確保することができる。

図 2、3、6 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。なお、第 1 の実施の形態は、両持ち型の傾斜角センサの製造

5 工程を示す。

図 2 (a) において、例えば、厚みが $550\mu\text{m}$ 程度で 6 インチ径のシリコンウェハ 11 を用意する。

次に、図 2 (b) に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて、不純物を選択的にイオン注入することにより、シリコンウェハ 11 上にpiezo抵抗 12
10 (piezo抵抗形成領域) を形成する。なお、piezo抵抗 12 は、実際には、主に 2 個以上のpiezo抵抗素子から構成するようにしてもよい。

そして、スパッタまたは蒸着などにより導電層をシリコンウェハ 11 全面に形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて導電層のパターニングを行なうことにより、配線やボンディングパッドなどの回路パターン 13
15 を形成する。

次に、図 2 (c) に示すように、CVD (化学気相成長法) またはスパッタなどにより、窒化珪素膜または酸化珪素膜などの保護膜 14 を形成する。

次に、図 2 (d) に示すように、保護膜 14 が形成されたシリコンウェハ 11 上に保護フィルム 15 を貼り付ける。なお、保護フィルム 15 としては、例えば、
20 粘着シートなどを用いることができる。

次に、図 2 (e) に示すように、シリコンウェハ 11 の裏面全体を研削する。ここで、研削方法としては、研磨やエッチングを用いることができ、例えば、最初 $550\mu\text{m}$ の厚みがあったシリコンウェハ 11 を $150\mu\text{m}$ の残厚まで研磨し、さらに、シリコンウェハ 11 が $50\mu\text{m}$ の残厚になるまでエッチングにより研削
25 してもよい。

また、CMP (化学的機械的研磨) により、シリコンウェハ 11 の裏面を研削するようにしてもよい。

次に、図 3 (a) に示すように、溝 21a が形成されたガラスウェハ 21 をシリコンウェハ 11 の裏面に貼り合わせる。ここで、ガラスウェハ 21 をシリコン

ウェハ 11 に貼り合わせる場合、溝 21a がシリコンウェハ 11 側に向くとともに、溝 21a の位置がピエゾ抵抗 12 の形成領域に対応するように配置する。

- この際、ガラスウェハ 21 として、ナトリウムガラスのようなイオン移動度が高いガラスを用い、シリコンウェハ 11 との間に 1KV 程度の高電圧を加える陽極接合を行なうことによって、選択的に強い接合力を得ることができる。

従って、溝 21a は、空洞のままの状態でもよいが、陽極接合しない通常のガラスや樹脂などの埋め込み部材 22 を充填し、ガラスウェハ 21 の表面を平坦化してもよい。

- なお、溶剤などによって選択的に除去可能な樹脂などの材料を充填した場合には、シリコンウェハ 11 をチップ状に切断した後に、溝 21a を空洞にすることもできる。

図 4 (a) は、本発明の第 1 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図 4 (b) は、本発明の第 1 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。

- 図 4 において、ガラスウェハ 21 には、シリコンウェハ 11 から切り出されるチップ配列に対応した溝 21a が形成され、溝 21a の幅は、1チップ分のピエゾ抵抗 12 の形成領域の大きさに対応するように設定される。例えば、傾斜角センサの 1チップ分の長さが 3mm であるとする、溝 21a の幅は 2mm に設定される。

- なお、D1～D6 はダイシングラインであり、シリコンウェハ 11 に貼り合わされたガラスウェハ 21 は、ダイシングライン D1～D6 に沿ってチップ状に切断される。このため、例えば、ダイシングライン D1～D3 で囲まれた領域から、1個分の傾斜角センサを切り出すことができる。

- ここで、縦方向のダイシングライン D1、D2 を溝 21a の間の中央に設定することにより、各チップに対して溝 21a の両側に支持部材を残すことが可能となり、両持ち型の傾斜角センサを構成することができる。

次に、図 3 (b) に示すように、ガラスウェハ 21 がシリコンウェハ 11 に貼り合わされると、シリコンウェハ 11 上に貼り付けられていた保護フィルム 15 を剥がす。

次に、図 3 (c) に示すように、凸部 3 1 a の設けられた錘ウェハ 3 1 をシリコンウェハ 1 1 上に接着する。ここで、凸部 3 1 a は、シリコンウェハ 1 1 から切り出される各チップに対応して設けられている。そして、錘ウェハ 3 1 をシリコンウェハ 1 1 上に接着する場合、凸部 3 1 a がシリコンウェハ 1 1 側を向くとともに、凸部 3 1 a が各チップの長手方向中央に位置するように、錘ウェハ 3 1 を配置する。

図 5 (a) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す断面図、図 5 (b) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す平面図である。

10 図 5 において、錘ウェハ 3 1 には、シリコンウェハ 1 1 から切り出されるチップ配列に対応した凸部 3 1 a が形成され、各凸部 3 1 a の間には、開口部 3 1 b が形成されている。

なお、D 1 ~ D 8 はダイシングラインであり、シリコンウェハ 1 1 に貼り合わされた錘ウェハ 3 1 は、シリコンウェハ 1 1 に貼り合わされたガラスウェハ 2 1 とともに、ダイシングライン D 1 ~ D 8 に沿ってチップ状に切断される。

ここで、錘ウェハ 3 1 に開口部 3 1 b を設け、縦方向のダイシングライン D 1、D 2 を開口部 3 1 b の中央に設定することにより、錘ウェハ 3 1 で覆われていない領域を各チップの両側に設けることが可能となり、各チップに対してワイヤボンディングを容易に行なうことが可能となる。

20 次に、図 3 (d) に示すように、ガラスウェハ 2 1 および錘ウェハ 3 1 が貼り合わされたシリコンウェハ 1 1 をダイシングすることにより、シリコン基板 1 1' を支持部材 2 1' および錘部材 3 1' とともに、チップ状に一体的に切り出す。ここで、1チップ分の長さは、例えば、3 mm とすることができる。

次に、図 6 (a) に示すように、支持部材 2 1' 内に充填されている埋め込み部材 2 2 を除去することにより、シリコン基板 1 1' の両端が支持部材 2 1' で支えられるようにして、シリコン基板 1 1' と支持部材 2 1' との間に隙間を形成し、シリコン基板 1 1' が支持部材 2 1' の間で撓み可能とする。

次に、図 6 (b) に示すように、支持部材 2 1' および錘部材 3 1' とともに切り出されたシリコン基板 1 1' を、リードフレーム 4 1 上にダイボンドする。

次に、図 6 (c) に示すように、シリコン基板 1 1' にワイヤボンディングを行なうことにより、シリコン基板 1 1' とリードフレーム 4 1 とをワイヤ 4 2 a、4 2 b で接続する。

ここで、錘ウェハ 3 1 には開口部 3 1 b が設けられ、錘ウェハ 3 1 から切り出された錘部材 3 1' の長さは、シリコン基板 1 1' の長さよりも短くなる。このため、シリコン基板 1 1' の両端を錘部材 3 1' から露出させることができ、錘部材 3 1' が邪魔になってシリコン基板 1 1' 上にワイヤボンディングができなくなることを防止することができる。

このように、第 1 の実施の形態によれば、シリコン基板 1 1' 自体に凹凸を設けることなく、両持ち型の傾斜角センサを製造することが可能となるとともに、支持部材 2 1' および錘部材 3 1' を複数のチップに一括形成することを可能として、支持部材 2 1' および錘部材 3 1' を各チップごとに配置する必要がなくなる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

〔第 2 の実施の形態〕

次に、本発明の第 2 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 7 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 2 の実施の形態を示す図である。

図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。なお、第 2 の実施の形態は、両持ち型の傾斜角センサの錘部材 3 3 を、台座 3 2 を介して配置するようにしたものである。

図 7 (a) において、図 2 (a) ~ 図 3 (b) の工程が終わると、台座 3 2 をシリコンウェハ 1 1 上に接着する。ここで、台座 3 2 は、シリコンウェハ 1 1 から切り出される各チップごとに設けられ、各チップの長手方向中央に位置するように配置する。

また、台座 3 2 の高さは、台座 3 2 の表面が、ワイヤ 4 2 a、4 2 b のアーチの頂点よりも高い位置にくるように設定する。

次に、図 7 (b) に示すように、ガラスウェハ 2 1 が貼り合わされるとともに、台座 3 2 が接着されたシリコンウェハ 1 1 をダイシングすることにより、台座 3 2 が接着されたシリコン基板 1 1' を支持部材 2 1' とともに、チップ状に一体的に切り出す。

- 5 次に、図 7 (c) に示すように、支持部材 2 1' および台座 3 2 が設けられたシリコン基板 1 1' を、リードフレーム 4 1 上にダイボンドする。

次に、図 7 (d) に示すように、シリコン基板 1 1' にワイヤボンディングを行なうことにより、シリコン基板 1 1' とリードフレーム 4 1 とをワイヤ 4 2 a、4 2 b で接続する。

- 10 次に、図 7 (e) に示すように、台座 3 2 上に錘部材 3 3 を接着する。

このように、第 2 の実施の形態によれば、シリコン基板 1 1' のワイヤボンディングを行なった後に、台座 3 2 上に錘部材 3 3 を接着することにより、ワイヤボンディングを行なう際に、錘部材 3 3 が邪魔になることを防止することができ、錘部材 3 3 を大きくして、傾斜角センサの検出感度を向上させることができる。

- 15 また、錘部材 3 3 を各チップごとに個々に配置することができ、錘部材 3 3 がチップからはみ出すことを可能として、錘部材 3 3 の配置の自由度を向上させることが可能となる。

[第 3 の実施の形態]

- 次に、本発明の第 3 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 8 ないし
20 図 1 2 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 3 の実施の形態を示す図である。

図 8 ~ 1 2 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。なお、第 3 の実施の形態は、片持ち型の傾斜角センサの製造工程を示す。

- 25 図 8 (a) において、例えば、厚みが 550 μ m 程度で 6 インチ径のシリコンウェハ 5 1 を用意する。

次に、図 8 (b) に示すように、フォトリソグラフィー技術を用いて、不純物を選択的にイオン注入することにより、シリコンウェハ 5 1 上にピエゾ抵抗 5 2 を形成する。なお、ピエゾ抵抗 5 2 は、実際には、主に 2 個以上のピエゾ抵抗素

子から構成するようにしてもよい。

そして、スパッタまたは蒸着などにより導電層をシリコンウェハ51全面に形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて導電層のパターニングを行なうことにより、配線やボンディングパッドなどの回路パターン53を形成する。

次に、図8(c)に示すように、CVD(化学気相成長法)またはスパッタなどにより、窒化珪素膜または酸化珪素膜などの保護膜54を形成する。

次に、図8(d)に示すように、保護膜54が形成されたシリコンウェハ51上に保護フィルム55を貼り付ける。なお、保護フィルム55としては、例えば、粘着シートなどを用いることができる。

次に、図8(e)に示すように、シリコンウェハ51の裏面全体を研削する。ここで、研削方法としては、研磨やエッチングを用いることができ、例えば、最初550 μ mの厚みがあったシリコンウェハ51を150 μ mの残厚まで研磨し、さらに、シリコンウェハ51が50 μ mの残厚になるまでエッチングにより研削してもよい。

また、CMP(化学的機械的研磨)により、シリコンウェハ51の裏面を研削するようにしてもよい。

次に、図9(a)に示すように、溝61aが形成されたガラスウェハ61をシリコンウェハ51の裏面に貼り合わせる。ここで、ガラスウェハ61をシリコンウェハ51に貼り合わせる場合、溝61aが、シリコンウェハ51側に向くとともに、ピエゾ抵抗52の形成領域およびスクライブラインにかかるように、ガラスウェハ61をシリコンウェハ51の裏面に配置する。

この際、ガラスウェハ61として、ナトリウムガラスのようなイオン移動度が高いガラスを用い、シリコンウェハ51との間に1KV程度の高電圧を加える陽極接合を行なうことによって、選択的に強い接合力を得ることができる。

従って、溝61aは、空洞のままの状態でもよいが、陽極接合しない通常のガラスや樹脂などの埋め込み部材62を充填し、ガラスウェハ61の表面を平坦化してもよい。

なお、溶剤などによって選択的に除去可能な樹脂などの材料を充填した場合に

は、シリコンウェハ 5 1 をチップ状に切断した後に、溝 6 1 a を空洞にすることもできる。

図 1 0 (a) は、本発明の第 3 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図 1 0 (b) は、本発明の第 3 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。

図 1 0 において、ガラスウェハ 6 1 には、シリコンウェハ 5 1 から切り出されるチップ配列に対応した溝 6 1 a が形成され、溝 6 1 a が 1 チップ分のピエゾ抵抗 5 2 の形成領域およびスクライブラインにかかるように、溝 6 1 a の幅が設定される。例えば、傾斜角センサの 1 チップ分の長さが 3 mm であるとする、溝 2 1 a の幅は 2. 5 mm に設定される。

なお、D 1 1 ~ D 1 7 はダイシングラインであり、シリコンウェハ 5 1 に貼り合わされたガラスウェハ 6 1 は、ダイシングライン D 1 1 ~ D 1 7 に沿ってチップ状に切断される。このため、例えば、ダイシングライン D 1 1 ~ D 1 2 ~ D 1 5 で囲まれた領域から、1 個分の傾斜角センサを切り出すことができる。

ここで、ガラスウェハ 6 1 の溝 6 1 a がシリコンウェハ 5 1 の縦方向のスクライブラインにかかるように配置するとともに、縦方向のダイシングライン D 1 1 ~ D 1 3 を溝 6 1 a の端に設定することにより、各チップに対して溝 6 1 a の片側に支持部材を残すことが可能となり、片持ち型の傾斜角センサを構成することができる。

次に、図 9 (b) に示すように、ガラスウェハ 6 1 がシリコンウェハ 5 1 に貼り合わされると、シリコンウェハ 5 1 上に貼り付けられていた保護フィルム 5 5 を剥がす。

次に、図 9 (c) に示すように、シリコンウェハ 5 1 から切り出される各チップごとに、台座 7 1 を接着する。ここで、台座 7 1 の配置位置は、各チップがガラスウェハ 6 1 で支えられる位置に対して、長手方向反対側になるように設定する。

次に、図 9 (d) に示すように、ガラスウェハ 6 1 が貼り合わされるとともに、台座 7 1 が接着されたシリコンウェハ 5 1 をダイシングすることにより、台座 7 1 が接着されたシリコン基板 5 1 ' を支持部材 6 1 ' とともに、チップ状に一体

的に切り出す。ここで、1チップ分の長さは、例えば、3mmとすることができる。

次に、図11(a)に示すように、台座71上に錘部材72を接着する。

次に、図11(b)に示すように、支持部材61'内に充填されている埋め込み部材62を除去することにより、シリコン基板51'の片側が支持部材61'で支えられるようにして、シリコン基板51'と支持部材61'との間に隙間を形成し、シリコン基板51'が支持部材61'を支点として撓み可能とする。

次に、図11(c)に示すように、支持部材61'および錘部材72が設けられたシリコン基板51'を、リードフレーム81上にダイボンドする。

10 次に、図12に示すように、シリコン基板51'にワイヤボンディングを行なうことにより、シリコン基板51'とリードフレーム81とをワイヤ82で接続する。

なお、第3の実施の形態では、台座71上に錘部材72を接着した後、シリコン基板51'のワイヤボンディングを行なう方法について説明したが、シリコン
15 基板51'のワイヤボンディングを行なった後に、台座71上に錘部材72を接着するようにしてもよく、これにより、ワイヤボンディングを行なう際に、錘部材72が邪魔になることを防止することができる。

このように、第3の実施の形態によれば、製造工程を複雑化させることなく、片持ち型の傾斜角センサを製造することができ、シリコン基板51'が支持部材
20 61'で支えられる位置と、錘部材72がシリコン基板51'で支えられる位置との距離を大きくして、シリコン基板51'をより効率よく撓ませることができる。

このため、傾斜角センサの長手方向の長さを大きくすることなく、傾斜角センサの検出感度を向上させることができ、傾斜角センサの小型化を図ることが可能
25 となる。

〔第4の実施の形態〕

次に、本発明の第4の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図13は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第4の実施の形態を示す図である。

図 1 3 は、本発明の第 4 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す断面図である。

図 1 3 において、シリコン基板 9 1 の表面上には、 piezo 抵抗 9 2 および回路パターン 9 3 が形成されるとともに、シリコン基板 9 1 の裏面は撓み可能な厚み
5 まで均一に研削されている。

また、シリコン基板 9 1 の裏面には、凹部 9 5 a を有する支持部材 9 5 が設けられ、支持部材 9 5 によりシリコン基板 9 1 の一端が支持されるとともに、シリコン基板 9 1 の表面には、台座 9 6 を介して錘部材 9 7 が設けられ、台座 9 6 は、シリコン基板 9 1 の他端に配置されている。

10 支持部材 9 5 の裏面はリードフレーム 9 8 に接着され、リードフレーム 9 8 と回路パターン 9 3 のボンディングパットとは、ワイヤ 9 9 により接続されている。

ここで、台座 9 6 の高さは、台座 9 6 の表面が、ワイヤ 9 9 のアーチの頂点よりも高い位置にくるように設定されるとともに、台座 9 6 は、錘部材 9 7 の端で錘部材 9 7 を保持する。

15 これにより、錘部材 9 7 平面の大きさをシリコン基板 9 1 平面の大きさと同等にした場合においても、錘部材 9 7 がシリコン基板 9 1 からはみ出すことを防止することが可能となるとともに、錘部材 9 7 がワイヤ 9 9 と接触することを防止することが可能となり、傾斜角センサの検出感度を向上させつつ、傾斜角センサのコンパクト化を図ることが可能となる。

20 また、支持部材 9 5 は、ナトリウムガラスのようなイオン移動度に高いガラスにより構成され、支持部材 9 5 の凹部 9 5 a には、陽極接合しない通常のガラスや樹脂などの埋め込み部材 1 0 0 が充填され、支持部材 9 5 の表面が平坦化されている。

そして、支持部材 9 5 とシリコン基板 9 1 とを接合する場合、シリコン基板 9
25 1 との間に 1 K V 程度の高電圧を加える陽極接合を行なう。

これにより、支持部材 9 5 とシリコン基板 9 1 とを強固に結合することが可能となるとともに、支持部材 9 5 とシリコン基板 9 1 とが埋め込み部材 1 0 0 の位置で離れることが可能となる。

この結果、シリコン基板 9 1 が支持部材 9 5 の下に位置するようなレイアウト

をとることにより、シリコン基板 9 1 を水平にした時に、シリコン基板 9 1 は、重力による錘部材 9 7 の静的加重で埋め込み部材 1 0 0 から離れる方向に応力を受けることができる。

5 このため、埋め込み部材 1 0 0 がシリコン基板 9 1 の変位を妨げることを阻止しつつ、支持部材 9 5 の表面を平坦化することができ、傾斜角センサとして水平から ± 9 0 度程度の範囲で十分に機能させることができる。

また、埋め込み部材 1 0 0 を支持部材 9 5 の凹部 9 5 a に充填することにより、シリコン基板 9 1 上に錘部材 9 7 を設ける時に、シリコン基板 9 1 に加重がかかっても、シリコン基板 9 1 を埋め込み部材 1 0 0 で支えることができ、シリコン
10 基板 9 1 の割れを防止して、傾斜角センサの製造コストを下げる事が可能となる。

さらに、埋め込み部材 1 0 0 を支持部材 9 5 の凹部 9 5 a に残したままにすることにより、埋め込み部材 1 0 0 を除去する工程を不要として、製造工程を簡略化することが可能となり、傾斜角センサの製造コストをより一層下げることが可能
15 となるとともに、傾斜角センサの落下時などに、傾斜角センサに衝撃が加わった場合においても、シリコン基板 9 1 を埋め込み部材 1 0 0 で支えて、シリコン基板 9 1 の破壊を防止することが可能となる。

〔第 5 の実施の形態〕

次に、本発明の第 5 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 1 4 ない
20 し図 1 8 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 5 の実施の形態を示す図である。

図 1 4、1 5、1 8 は、本発明の第 5 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。なお、第 5 の実施の形態は、片持ち型の傾斜角センサの製造工程を示す。

25 図 1 4 (a) において、例えば、厚みが 5 5 0 μ m 程度で 6 インチ径のシリコンウェハ 1 1 1 を用意する。

次に、図 1 4 (b) に示すように、フォトリソグラフィー技術を用いて、不純物を選択的にイオン注入することにより、シリコンウェハ 1 1 1 上にピエゾ抵抗 1 1 2 を形成する。

そして、スパッタまたは蒸着などにより導電層をシリコンウェハ 1 1 1 全面に形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて導電層のパターニングを行なうことにより、配線やボンディングパッドなどの回路パターン 1 1 3 を形成する。

- 5 次に、図 1 4 (c) に示すように、CVD (化学気相成長法) またはスパッタなどにより、窒化珪素膜または酸化珪素膜などの保護膜 1 1 4 を形成する。

次に、図 1 4 (d) に示すように、保護膜 1 1 4 が形成されたシリコンウェハ 1 1 1 上に保護フィルム 1 1 5 を貼り付ける。なお、保護フィルム 1 1 5 としては、例えば、粘着シートなどを用いることができる。

- 10 次に、図 1 4 (e) に示すように、シリコンウェハ 1 1 1 の裏面全体を研削する。ここで、研削方法としては、研磨やエッチングを用いることができ、例えば、最初 550 μm の厚みがあったシリコンウェハ 1 1 1 を 150 μm の残厚まで研磨し、さらに、シリコンウェハ 1 1 1 が 50 μm の残厚になるまでエッチングにより研削してもよい。

- 15 また、CMP (化学的機械的研磨) により、シリコンウェハ 1 1 1 の裏面を研削するようにしてもよい。

- 次に、図 1 5 (a) に示すように、溝 1 2 1 a、1 2 1 b が形成されたガラスウェハ 1 2 1 をシリコンウェハ 1 1 1 の裏面に貼り合わせる。ここで、ガラスウェハ 1 2 1 をシリコンウェハ 1 1 1 に貼り合わせる場合、溝 1 2 1 a、1 2 1 b がシリコンウェハ 1 1 1 側に向くとともに、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b が各チップのピエゾ抵抗 1 1 2 の形成領域を含むとともに、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b の一方のラインがシリコンウェハ 1 1 1 のスクライブラインにかかり、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b の他方のラインがシリコンウェハ 1 1 1 のスクライブラインにかからないように配置する。

- 25 この際、ガラスウェハ 1 2 1 として、ナトリウムガラスのようなイオン移動度に高いガラスを用いた場合、シリコンウェハ 1 1 1 との間に 1 KV 程度の高電圧を加える陽極接合を行なうことによって、選択的に強い接合力を得ることができる。

従って、溝 1 2 1 a、1 2 1 b は、空洞のままの状態でもよいが、陽極接合し

ない通常のガラスや樹脂などの埋め込み部材 1 2 2 a、1 2 2 b を充填し、ガラスウェハ 1 2 1 の表面を平坦化してもよい。

- 5 なお、溶剤などによって選択的に除去可能な樹脂などの材料を充填した場合には、シリコンウェハ 1 1 1 をチップ状に切断した後に、溝 1 2 1 a、1 2 1 b を空洞にするようにしてもよい。

図 1 6 (a) は、本発明の第 5 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す平面図、図 1 6 (b) は、本発明の第 5 の実施の形態に係るガラスウェハの構成を示す断面図である。

- 10 図 1 6 において、ガラスウェハ 1 2 1 には、シリコンウェハ 1 1 1 から切り出されるチップ配列に対応した溝 1 2 1 a、1 2 1 b が形成され、溝 1 2 1 a、1 2 1 b の幅は、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b が、1 チップ分のピエゾ抵抗 1 1 2 の形成領域を含むとともに、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b の一方のラインがシリコンウェハ 1 1 1 のスクライブラインにかかり、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b の他方のラインがシリコンウェハ 1 1 1 のスクライブラインにかからないように設定される。

- 15 なお、D 2 1 ~ D 2 8 および D 3 1 ~ D 3 4 はダイシングラインであり、シリコンウェハ 1 1 1 に貼り合わされたガラスウェハ 1 2 1 は、ダイシングライン D 2 1 ~ D 2 8 および D 3 1 ~ D 3 4 に沿ってチップ状に切断される。このため、例えば、ダイシングライン D 2 1、D 2 5、D 3 1、D 3 2 で囲まれた領域から、1 個分の傾斜角センサを切り出すことができる。

- 20 ここで、縦方向のダイシングライン D 2 1、D 2 2 をガラスウェハ 1 2 1 の凸部の中央に設定するとともに、縦方向のダイシングライン D 2 3 ~ D 2 8 を各溝 1 2 1 a、1 2 1 b の端にかかるように設定することにより、各チップに対して溝 1 2 1 a、1 2 1 b の片側に支持部材を残すことが可能となり、片持ち型の傾斜角センサを構成することができる。

- 25 次に、図 1 5 (b) に示すように、ガラスウェハ 1 2 1 がシリコンウェハ 1 1 1 に貼り合わされると、シリコンウェハ 1 1 1 上に貼り付けられていた保護フィルム 1 1 5 を剥がす。

次に、図 1 5 (c) に示すように、凸部 1 3 1 a の設けられた錘ウェハ 1 3 1 をシリコンウェハ 1 1 1 上に接着する。ここで、凸部 1 3 1 a は、シリコンウェ

ハ 1 1 1 から切り出される 2 列分のチップに対応して設けられている。そして、
錘ウェハ 1 3 1 をシリコンウェハ 1 1 1 上に接着する場合、凸部 1 3 1 a がシリ
コンウェハ 1 1 1 側を向くとともに、凸部 1 3 1 a がスクライブラインを跨いで、
その両側のチップの端部にかかるように、錘ウェハ 1 3 1 を配置する。

- 5 図 1 7 (a) は、本発明の第 5 の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す断面
図、図 1 7 (b) は、本発明の第 5 の実施の形態に係る錘ウェハの構成を示す平
面図である。

図 1 7 において、錘ウェハ 1 3 1 には、シリコンウェハ 1 1 1 から切り出され
る 2 列分のチップ配列に対応した凸部 1 3 1 a が形成されている。

- 10 なお、D 2 1 ~ D 2 8 および D 3 1 ~ D 3 4 はダイシングラインであり、シリ
コンウェハ 1 1 1 に貼り合わされた錘ウェハ 1 3 1 は、シリコンウェハ 1 1 1 に
貼り合わされたガラスウェハ 1 2 1 とともに、D 2 1 ~ D 2 8 および D 3 1 ~ D
3 4 に沿ってチップ状に切断される。

- また、H 1 ~ H 4 はハーフダイシングラインであり、錘ウェハ 1 3 1 は、シリ
15 コンウェハ 1 1 1 に貼り合わされた状態で、ハーフダイシングライン H 1 ~ H 4
に沿ってハーフダイシングされることにより、錘ウェハ 1 3 1 の各凸部 1 3 1 a
間の凹部の中央部分が切り落とされる。

- ここで、錘ウェハ 1 3 1 のハーフダイシングを行なうことにより、錘ウェハ 1
3 1 がシリコンウェハ 1 1 1 に貼り合わされた状態で、錘ウェハ 1 3 1 で覆われ
20 ていない領域を各チップの片側に設けることが可能となり、各チップに対してワ
イヤボンディングを容易に行なうことが可能となる。

- また、凸部 1 3 1 a が、シリコンウェハ 1 1 1 のスクライブラインを跨ぐよう
に錘ウェハ 1 3 1 を配置することにより、錘ウェハ 1 3 1 およびシリコンウェハ
1 1 1 を凸部 1 3 1 a の位置で切断するだけで、各チップの端部に錘部材 1 3
25 1 ' ' を設けることが可能となる。

次に、図 1 5 (d) に示すように、シリコンウェハ 1 1 1 に貼り合わされた状
態で、ハーフダイシングライン H 1 ~ H 4 に沿って、錘ウェハ 1 3 1 のハーフダ
イシングを行なうことにより、錘ウェハ 1 3 1 の各凸部 1 3 1 a 間の凹部の中央
部分を切り落とす。

このため、錘バー 1 3 1' が 2 列分のチップごとに形成される。

次に、図 1 8 (a) に示すように、ガラスウェハ 1 2 1 および錘バー 1 3 1' が貼り合わされたシリコンウェハ 1 1 1 を、ダイシングライン D 2 1 ~ D 2 8 および D 3 1 ~ D 3 4 に沿ってダイシングすることにより、シリコン基板 1 1 1' を支持部材 1 2 1' および錘部材 1 3 1' ' とともに、チップ状に一体的に切り出す。ここで、1 チップ分の長さは、例えば、3 mm とすることができる。

次に、図 1 8 (b) に示すように、支持部材 1 2 1' 内に充填されている埋め込み部材 1 2 2 a、1 2 2 b を除去することにより、シリコン基板 1 1 1' の一端が支持部材 1 2 1' で支えられるようにして、シリコン基板 1 1 1' と支持部材 1 2 1' との間に隙間を形成し、シリコン基板 1 1 1' が支持部材 1 2 1' を支点として撓み可能とする。

次に、図 1 8 (c) に示すように、支持部材 1 2 1' および錘部材 1 3 1' ' とともに切り出されたシリコン基板 1 1 1' を、リードフレーム 1 4 1 上にダイボンドする。

次に、図 1 8 (d) に示すように、シリコン基板 1 1 1' にワイヤボンディングを行なうことにより、シリコン基板 1 1 1' とリードフレーム 1 4 1 とをワイヤ 1 4 2 で接続する。

ここで、錘ウェハ 1 3 1 のハープダイシングを行なうことにより、シリコン基板 1 1 1' の片端を錘部材 1 3 1' ' から露出させることができ、錘部材 1 3 1' ' が邪魔になってシリコン基板 1 1 1' 上にワイヤボンディングができなくなることを防止することができる。

このように、第 5 の実施の形態によれば、シリコン基板 1 1 1' 自体に凹凸を設けることなく、片持ち型の傾斜角センサを製造することが可能となるとともに、支持部材 1 2 1' および錘部材 1 3 1' ' を複数のチップに一括形成することを可能として、支持部材 1 2 1' および錘部材 1 3 1' ' を各チップごとに配置する必要がなくなる。

このため、傾斜角センサの検出感度を向上させつつ、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となる。

なお、第 5 の実施の形態では、各溝 1 2 1 a、1 2 1 b が各チップ配列ごとに

分離する方法について説明したが、2本の溝121a、121bが互いに繋がるようにして、1本の溝で2列分のチップ配列を受け持つようにしてもよく、これにより、ダイシング時に無駄な廃材（例えば、ダイシングラインD23とダイシングラインD24との間の部分）が出ることを防止して、1枚のウェハから採れる傾斜角センサの個数を増やすことができる。

〔第6の実施の形態〕

次に、本発明の第6の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図19ないし図23は、本発明に係る傾斜角センサの第6の実施の形態を示す図である。

図19(a)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサの概略構成を示す斜視図、図19(b)は、本発明の第6の実施の形態に係る傾斜角センサのシリコン基板表面の構成を示す平面図である。なお、第6の実施の形態は、厚みが均一な一枚のシリコン基板を用いて、2軸の傾斜角センサを構成するようにしたものである。

図19において、シリコン基板151の表面151a上には、ピエゾ抵抗R11～R16および端子P1～P9が形成されるとともに、ピエゾ抵抗R11～R16と端子P1～P9とを接続する配線L1が形成され、さらに、シリコン基板151の裏面151bは、シリコン基板151が撓み可能な厚みまで均一に研削されている。

また、シリコン基板151の長手方向の一端には支持部材接合領域J1が設けられ、シリコン基板151の長手方向の他端には台座接合領域J2が設けられ、支持部材接合領域J1には、凸部152aを介して支持部材152が接合され、台座接合領域J2には、台座153を介して錘部材154が接合されている。

なお、支持部材152は、シリコン基板151の裏面に配置され、錘部材154は、シリコン基板151の表面に配置される。

ここで、ピエゾ抵抗R11、R13、R15は、台座接合領域J2の近傍に配置され、ピエゾ抵抗R12、R14、R16は、支持部材接合領域J1の近傍に配置される。

また、ピエゾ抵抗R11、R12は、長手方向に設定される中央ラインに沿って配置され、ピエゾ抵抗R13～R16は、中央ラインの両側の平行ラインに沿

って、それぞれ2個ずつ等間隔で配置される。

そして、シリコン基板151の表面151aを下に向けた状態では、錘部材154が重力Wで下向きに引っ張られるが、支持部材152を水平に保つと、重力Wは、錘部材154にかかるZ軸方向成分の力 $F_z = W$ と一致する。

- 5 このため、シリコン基板151の端部には、台座153を介してZ軸方向成分の力 $F_z = W$ がかかり、シリコン基板151はZ軸方向に撓んだ状態になる。

図20は、図19の傾斜角センサがY軸回りに傾いた場合の動作を示す斜視図である。

- 図20において、支持部材152がY軸回りに傾くと、錘部材154にかかる
10 Z軸方向成分の力 F_z が減少する一方で、X軸方向成分の力 F_x が生じ、結果として、支持部材152とシリコン基板151との間の間隔がより広がることになり、シリコン基板151のZ軸方向の撓み量が大きくなる。

- この結果、ピエゾ抵抗R11の引張応力、ピエゾ抵抗R12の圧縮応力がそれぞれ増加し、これらの応力の変動に従って、ピエゾ抵抗R11、R12の抵抗値
15 が増減する。

図21は、図19(b)のピエゾ抵抗R11、R12の結線構成を示す回路図である。

図21において、ピエゾ抵抗R11、R12は直列接続され、端子P4は、ピエゾ抵抗R11、R12をそれぞれ介して端子P6、P5に接続されている。

- 20 そして、端子P5、P6間に電圧Eを印加し、端子P4、P6間の電圧V1を検出することにより、Y軸回り傾斜角を求めることができる。

図22(a)は、図19の傾斜角センサがX軸回りに傾いた場合の動作を示す斜視図、図22(b)は、図19(b)のE2-E2線で切断した断面図、図22(c)は、図19(b)のE3-E3線で切断した断面図である。

- 25 図22において、支持部材152がX軸回りに傾くと、錘部材154にはY方向成分の力 F_y が生じるため、シリコン基板151がX軸回りに撓られる。

この結果、ピエゾ抵抗R13にかかっている引張応力およびピエゾ抵抗R14にかかっている圧縮応力は減少し、ピエゾ抵抗R15にかかっている引張応力およびピエゾ抵抗R16にかかっている圧縮応力は増加する。

このため、これらの応力の変動に従って、ピエゾ抵抗 $R_{13} \sim R_{16}$ の抵抗値が増減する。

図23は、図19(b)のピエゾ抵抗 $R_{13} \sim R_{16}$ の結線構成を示す回路図である。

- 5 図23において、ピエゾ抵抗 $R_{13} \sim R_{16}$ はブリッジ回路を構成している。すなわち、端子P1、P2間にはピエゾ抵抗 R_{14} が接続され、端子P2、P3間にはピエゾ抵抗 R_{13} が接続され、端子P7、P8間にはピエゾ抵抗 R_{15} が接続され、端子P8、P9間にはピエゾ抵抗 R_{16} が接続され、端子P1、P9間は短絡され、端子P3、P7間は短絡されている。
- 10 そして、端子P2、P8間に電圧Eを印加し、端子P1、P3間の電圧 V_2 を検出することにより、X軸回りの傾斜角を求めることができる。

〔第7の実施の形態〕

次に、本発明の第7の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図24ないし図26は、本発明に係る傾斜角センサの第7の実施の形態を示す図である。

- 15 図24(a)は、図24(b)のF-F線で切断した断面図、図24(b)は、本発明の第7の実施の形態に係る傾斜角センサのシリコン基板表面の構成を示す平面図である。なお、第7の実施の形態は、厚みが均一な一枚のシリコン基板を用いて、両持型の2軸の傾斜角センサを構成するようにしたものである。

- 図24において、シリコン基板161の表面上には、ピエゾ抵抗 $R_{21} \sim R_{28}$ および端子P11～P22が形成されるとともに、ピエゾ抵抗 $R_{21} \sim R_{28}$ と端子P11～P22とを接続する配線L2、L3が形成され、さらに、シリコン基板161の裏面は、シリコン基板161が撓み可能な厚みまで均一に研削されている。
- 20

- また、シリコン基板161の長手方向の両端には支持部材接合領域J11、J12が設けられ、シリコン基板161の長手方向の中央には台座接合領域J13が設けられ、支持部材接合領域J11、J12には、凸部162aを介して支持部材162が接合され、台座接合領域J13には、台座163を介して錘部材164が接合されている。
- 25

なお、支持部材162は、シリコン基板161の裏面に配置され、錘部材16

4は、シリコン基板161の表面に配置される。

ここで、ピエゾ抵抗R21、R23、R25、R27は、台座接合領域J13の近傍に配置され、ピエゾ抵抗R22、R24、R26、R28は、支持部材接合領域J11、J12の近傍に配置される。

- 5 また、ピエゾ抵抗R21、R22、R27、R28は、長手方向に設定される中央ラインに沿って配置され、ピエゾ抵抗R23～R26は、中央ラインの両側の平行ラインに沿って、それぞれ2個ずつ等間隔で配置される。

そして、錘部材164がぶら下がった状態で、支持部材162をY軸回りに傾けると、シリコン基板161の撓みが増加する。そして、この時のピエゾ抵抗R
10 21、R22、R27、R28の抵抗値の変化量を計測することにより、Y軸回りの傾斜角を求めることができる。

また、錘部材164がぶら下がった状態で、支持部材162をX軸回りに傾けると、シリコン基板161に捻れが発生する。そして、この時のピエゾ抵抗R23～R26の抵抗値の変化量を計測することにより、X軸回りの傾斜角を求める
15 ことができる。

図25は、図24(b)のピエゾ抵抗R21、R22、R27、R28の結線構成を示す回路図である。

図25において、ピエゾ抵抗R21、R22、R27、R28はブリッジ回路を構成している。すなわち、端子P14、P15間にはピエゾ抵抗R22が接続
20 され、端子P14、P16間にはピエゾ抵抗R21が接続され、端子P20、P21間にはピエゾ抵抗R28が接続され、端子P20、P22間にはピエゾ抵抗R27が接続され、端子P15、P21間は短絡され、端子P16、P22間は短絡されている。

そして、端子P14、P20間に電圧Eを印加し、端子P15、P16間の電
25 圧V3を検出することにより、Y軸回りの傾斜角を求めることができる。

なお、Y軸回りの傾斜角を求める場合、必ずしも4個のピエゾ抵抗R21、R22、R27、R28を設ける必要はなく、ピエゾ抵抗R21、R22またはピエゾ抵抗R27、R28を省略し、図21のような分圧回路を構成するようにしてもよい。

図 2 6 は、図 2 4 (b) の piezo 抵抗 R 2 3 ~ R 2 6 の結線構成を示す回路図である。

図 2 6 において、piezo 抵抗 R 2 3 ~ R 2 6 はブリッジ回路を構成している。

- すなわち、端子 P 1 1、P 1 2 間には piezo 抵抗 R 2 4 が接続され、端子 P 1 2、
- 5 P 1 3 間には piezo 抵抗 R 2 3 が接続され、端子 P 1 8、P 1 9 間には piezo 抵抗 R 2 6 が接続され、端子 P 1 7、P 1 8 間には piezo 抵抗 R 2 5 が接続され、端子 P 1 1、P 1 9 間は短絡され、端子 P 1 3、P 1 7 間は短絡されている。

そして、端子 P 1 2、P 1 8 間に電圧 E を印加し、端子 P 1 1、P 1 3 間の電圧 V 4 を検出することにより、X 軸回りの傾斜角を求めることができる。

10 [第 8 の実施の形態]

次に、本発明の第 8 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 2 7 ないし図 3 9 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 8 の実施の形態を示す図である。

- 図 2 7 (a) は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す
- 15 平面図、図 2 7 (b) は、図 2 7 (a) の A 1 - A 1 線で切断した断面図である。

図 2 7 において、シリコン基板 2 の表面上には、piezo 抵抗 R 1、R 2 および A 1 パッド P 1 ~ P 3 が形成されるとともに、piezo 抵抗 R 1、R 2 と A 1 パッド P 1 ~ P 3 を接続する配線 H 1 が形成されている。

- また、シリコン基板 2 の表面上には、A 1 パッド 3 を介して半田バンプ 4 が形
- 20 成されるとともに、シリコン基板 2 は、撓み可能な厚みまで裏面が均一に研削され、さらに、piezo 抵抗 R 1、R 2 の配置領域に対応して、くびれ 2 a が形成されている。

- また、シリコン基板 2 の裏面には、凹部 1 a が形成された支持部材 1 が設けられ、シリコン基板 2 の一端が裏面から支持されるとともに、支持部材 1 は、piezo
- 25 抵抗 R 1、R 2 の形成領域が凹部 1 a のエッジ近傍に位置し、半田バンプ 4 が凹部 1 a 上に位置するように配置されている。

これにより、piezo 抵抗 R 1、R 2 が形成されたシリコン基板 2 の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓み可能な状態でシリコン基板 2 を支持することが可能となるとともに、既存のフリップチップ実装技術との整合性をとりつつ、

錘部材の比重を容易に増大させて、錘部材の縮小化を図ることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

- 5 図28(a)、(b)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角センサの動作を示す断面図、図28(c)は、図27(a)のピエゾ抵抗R1、R2の結線構成を示す回路図である。

図28(a)において、図27の傾斜角センサを動作させる場合、半田バンプ4が下側に向くように、傾斜角センサを配置する。

- 10 そして、半田バンプ4を下に向けた状態では、半田バンプ4が重力Wで下向きに引っ張られるが、支持部材1を水平に保つと、重力Wは、半田バンプ4にかかるZ軸方向成分の力 F_z と一致する。

このため、シリコン基板2の端部には、半田バンプ4を介してZ軸方向成分の力 $F_z = W$ がかかる。

- 15 ここで、シリコン基板2は、撓み可能な厚みまで裏面が均一に研削されているので、Z軸方向成分の力 $F_z = W$ がシリコン基板2の端部にかかるると、シリコン基板2はZ軸方向に撓んだ状態で安定する。

- 次に、図28(b)において、支持部材1がY軸回りに傾くと、半田バンプ4にかかるZ軸方向成分の力 F_z が減少する一方で、X軸方向成分の力 F_x が生じ、
20 結果として、支持部材1とシリコン基板2との間の間隔がより広がることになり、シリコン基板2のZ軸方向の撓み量が大きくなる。

この結果、ピエゾ抵抗R1、R2にかかる応力が変動し、この応力の変動に従って、ピエゾ抵抗R1、R2の抵抗値が増減する。

- ここで、図28(c)に示すように、ピエゾ抵抗R1、R2は直列接続され、
25 端子P2は、ピエゾ抵抗R1、R2をそれぞれ介して端子P1、P3に接続されている。

そして、端子P1、P3間に電圧Eを印加し、端子P2、P3間の電圧V1を検出することにより、Y軸回りの傾斜角を求めることができる。

図29(a)～図35(a)は、本発明の第8の実施の形態に係る傾斜角セン

サの製造工程を示す平面図、図 29 (b) ~ 図 35 (b) および図 36 は、本発明の第 8 の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。

図 29 において、例えば、厚みが $550\text{ }\mu\text{m}$ 程度で 5 インチ径のシリコン基板 2 を用意する。

- 5 そして、フォトリソグラフィ技術を用いて、ホウ素などの不純物をシリコン基板 2 に選択的にイオン注入することにより、シリコン基板 2 上の各チップ領域にピエゾ抵抗 R 1、R 2 を形成する。

- そして、スパッタまたは蒸着などにより、A 1 膜をシリコン基板 2 全面に形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて A 1 膜のパターニングを行なうことにより、シリコン基板 2 上の各チップ領域に A 1 パッド 3、P
10 1 ~ P 3 および配線 H 1 を形成する。

- ここで、シリコン基板 2 の各チップ領域の幅 W 1 は、例えば、 1.4 mm 、長さ L 1 は、例えば、 2.8 mm とすることができ、これにより、5 インチ径の 1 枚のシリコン基板 2 から、約 3000 個の傾斜角センサチップを得ることが可能
15 となる。

- 次に、図 30 に示すように、粘着シートなどの保護フィルムをシリコン基板 2 上に貼り付け、シリコン基板 2 の厚みが T 1 になるまで、シリコン基板 2 の裏面全体を研削する。ここで、シリコン基板 2 の研削方法としては、例えば、CMP (化学的機械的研磨) やエッチングを用いることができる。また、シリコン基板
20 2 の厚み T 1 は、例えば、 $100\text{ }\mu\text{m}$ とすることができ、これにより、シリコン基板 2 の撓みを可能としつつ、シリコン基板 2 が割れないような強度を維持することができる。

- 次に、図 31 に示すように、凹部 1 a が形成されたガラス基板 1 をシリコン基板 2 の裏面に貼り合わせる。ここで、ガラス基板 1 をシリコン基板 2 に貼り合わせる場合、凹部 1 a を、シリコン基板 2 側に向き合わせる。そして、ピエゾ抵抗 R 1、R 2 の形成領域が凹部 1 a のエッジ近傍に位置し、半田バンプ 4 が凹部 1 a 上に位置するように、ガラス基板 1 を配置する。
25

 この際、ガラス基板 1 として、ナトリウムガラスのようなイオン移動度が高いガラスを用いることができ、シリコン基板 2 との間に 1 KV 程度の高電圧を加え、

ガラス基板 1 とシリコン基板 2 との陽極接合を行なうことにより、選択的に強い接合力を得ることができる。

- このため、凹部 1 a は、空洞のままの状態でもよいが、陽極接合されない通常のガラスや樹脂などの埋め込み部材を充填し、ガラス基板 1 の表面を平坦化して
- 5 もよい。

次に、図 3 2 に示すように、ガラス基板 1 がシリコン基板 2 の裏面に貼り合わされると、シリコン基板 2 上に貼り付けられていた保護フィルムを剥がす。

そして、シリコン基板 2 上の各チップ領域に形成された A 1 パッド 3 上に半田バンプ 4 を形成する。

- 10 ここで、半田バンプ 4 の大きさ C 1 は、例えば、0. 6 ~ 1. 2 mm 程度とすることができ、半田バンプ 4 の高さ H 1 は、例えば、0. 1 ~ 0. 4 mm 程度とすることができる。

- また、半田バンプ 4 の形成方法としては、例えば、電解メッキまたはスクリーン印刷を用いることができ、これにより、シリコン基板 2 から取り出される全てのチップに対して、半田バンプ 4 を一括して形成することができ、製造工程を簡略化することができる。
- 15

また、半田バンプ 4 の比重は、ガラスやシリコンに比べて 3 倍以上度あるので、同じ錘効果を得る場合、半田バンプ 4 の体積を 1 / 3 以下にすることができ、半田バンプ 4 の小型化を図ることが可能となる。

- 20 次に、図 3 3 に示すように、フォトリソグラフィー技術およびエッチング技術を用いて、半田バンプ 4 が形成されたシリコン基板 2 を選択的にエッチングすることにより、シリコン基板 2 にくびれ 2 a を形成するとともに、凹部 1 a 上のシリコン基板 2 が各チップごとに切り離されるようにする。

- なお、シリコン基板 2 のエッチング方法としては、例えば、KOH を用いたウェットエッチングを用いることができる。
- 25

次に、図 3 4 に示すように、ガラス基板 1 に接合されたシリコン基板 2 をダイシングライン L 1、L 2 に沿ってダイシングすることにより、半田バンプ 4 が表面に形成されるとともに、ガラス基板 1 で裏面が支持されたシリコン基板 2 をチップ状に切り出す。

次に、図 3 5 に示すように、半田バンプ 4 が表面に形成されるとともに、ガラス基板 1 で裏面が支持されたシリコン基板 2 を、パッケージ 6 内にダイボンドする。

そして、ワイヤボンディングを行なうことにより、パッケージ 6 に設けられた
5 端子 7 とシリコン基板 2 上に形成された A 1 パッド P 1 ~ P 3 とを金ワイヤ 5 で接続する。

次に、図 3 6 に示すように、パッケージ 6 に蓋 8 を接着することにより、傾斜角センサを封止する。

これにより、シリコン基板 2 とガラス基板 1 との貼り合わせを 1 回行なうだけで、
10 ピエゾ抵抗 R 1、R 2 が形成されたシリコン基板 2 の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓み可能な状態でピエゾ抵抗 R 1、R 2 を支持するための支持部を複数のチップに対して一括して形成することが可能となる。

また、ピエゾ抵抗 R 1、R 2 が形成されたシリコン基板 2 の裏面を選択的にエッチングすることなく、比重の大きな半田バンプ 4 をシリコン基板 2 上に形成
15 することが可能となるとともに、ピエゾ抵抗 R 1、R 2 の形成領域にくびれ 2 a を設けることが可能となり、シリコン基板 2 の厚みを均一化したまま、ピエゾ抵抗 R 1、R 2 の形成領域を効率よく撓ませることが可能となる。

このため、半田バンプ 4 の小型化を図りつつ、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、傾
20 斜角センサの検出精度を容易に向上させることが可能となる。

なお、第 8 の実施の形態では、ピエゾ抵抗 R 1、R 2、A 1 パッド 3、P 1 ~ P 3 および配線 H 1 をシリコン基板 2 上に形成してから、シリコン基板 2 の裏面を研削し、そのシリコン基板 2 を凹部 1 a が形成されたガラス基板 1 に接合する方法について説明したが、研削する前のシリコン基板 2 を凹部 1 a が形成された
25 ガラス基板 1 に接合し、そのシリコン基板 2 の表面を研削してから、ピエゾ抵抗 R 1、R 2、A 1 パッド 3、P 1 ~ P 3 および配線 H 1 をシリコン基板 2 上に形成するようにしてもよい。

これにより、シリコン基板 2 の厚み T 1 が $100\mu\text{m}$ と薄い状態で、シリコン基板 2 をガラス基板 1 に接合する必要がなくなり、シリコン基板 2 の取り扱いを

容易に行うことが可能となる。

また、第 8 の実施の形態では、シリコン基板 2 が撓みやすくするために、くびれ 2 a を設けた例について説明したが、くびれ 2 a は必ずしも設けなくてもよい。

- また、第 8 の実施の形態では、半田バンプ 4 の周囲のシリコン基板 2 を各チップごとに切り離すために、シリコン基板 2 をエッチングする方法について説明したが、ダイシングにより、半田バンプ 4 の周囲のシリコン基板 2 を各チップごとに切り離すようにしてもよい。

- また、第 8 の実施の形態では、半田バンプ 4 を各チップごとに 1 個ずつ設ける方法について説明したが、半田バンプ 4 を各チップごとに複数設けるようにしてもよい。

図 3 7 ～図 3 9 は、本発明の一実施の形態に係る傾斜角センサの半田バンプの製造工程の一例を示す断面図である。

図 3 7 (a) において、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いることにより、シリコン基板 1 1 上に A 1 パッド 1 2 a、1 2 b を形成する。

- 次に、図 3 7 (b) に示すように、スパッタまたは蒸着により、A 1 パッド 1 2 a、1 2 b が形成されたシリコン基板 1 1 上に UBM (Under Bump Metal) 膜 1 3 を形成する。

- 次に、図 3 7 (c) に示すように、UBM 膜 1 3 が形成されたシリコン基板 1 1 上にレジスト 1 4 を塗布し、フォトリソグラフィ技術を用いることにより、半田バンプを形成する領域に開口部 1 4 a を形成する。

次に、図 3 7 (d) に示すように、UBM 膜 1 3 をカソード電極として、電解銅メッキを行うことにより、開口部 1 4 a が形成された UBM 膜 1 3 上に電解銅メッキ層 1 5 を形成する。

- 次に、図 3 8 (a) に示すように、UBM 膜 1 3 をカソード電極として、電解半田メッキを行うことにより、銅メッキ層 1 5 上に電解半田メッキ層 1 6 を形成する。

次に、図 3 8 (b) に示すように、酸素プラズマ処理を行うことにより、シリコン基板 1 1 上に形成されたレジスト 1 4 を除去する。

次に、図 3 8 (c) に示すように、電解半田メッキ層 1 6 が形成されたシリコ

ン基板 1 1 の熱処理を行うことにより、電解半田メッキ層 1 6 を丸める。

次に、図 3 9 に示すように、ドライエッチングまたはウェットエッチングにより、電解半田メッキ層 1 6 の周りの UBM 膜 1 3 を除去する。

これにより、シリコン基板 1 1 の裏面を選択的にエッチングすることなく、比重の大きな電解半田メッキ層 1 6 を複数のチップに対して一括して形成することが可能となり、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げる事が可能となるとともに、錘部材を小型化して、傾斜角センサを小型化することが可能となる。

〔第 9 の実施の形態〕

- 10 次に、本発明の第 9 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 4 0 ないし図 4 8 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角センサの製造方法の第 9 の実施の形態を示す図である。

図 4 0 (a) は、本発明の第 9 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図、図 4 0 (b) は、図 4 0 (a) の B 1 - B 1 線で切断した断面図である。

- 15 図 4 0 において、シリコン基板 2 1 上には、シリコン酸化膜 2 0 を介して単結晶シリコン層 2 2 が形成されている。

そして単結晶シリコン層 2 2 の表面上には、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 および A 1 パッド P 2 1 ~ P 2 3 が形成されるとともに、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 と A 1 パッド P 2 1 ~ P 2 3 を接続する配線 H 2 1 が形成されている。

- 20 また、単結晶シリコン層 2 2 の表面上には、A 1 パッド 2 3 を介して半田バンプ 2 4 が形成されるとともに、単結晶シリコン層 2 2 には、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 の配置領域に対応して、くびれ 2 2 a が形成されている。

- また、半田バンプ 2 4 およびピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 の配置領域に対応して、単結晶シリコン層 2 2 下のシリコン酸化膜 2 0 が部分的に除去され、残存するシリコン酸化膜 2 0 を支点として、単結晶シリコン層 2 2 が撓み可能な状態に保持されている。
- 25

これにより、ピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 を保持するシリコン基板 2 1 の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓み可能な状態でピエゾ抵抗 R 2 1、R 2 2 を保持しつつ、錘部材を設けることが可能となる。

また、ピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} に応力が加わるように、ピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} が形成された単結晶シリコン層22を支持する場合においても、単結晶シリコン層22を薄く加工した後に、単結晶シリコン層22をシリコン基板21に貼り合わせる必要がなくなる。

- 5 このため、シリコン基板21に貼り合わせるための強度を確保するために、単結晶シリコン層22の厚みを厚くする必要がなくなることから、単結晶シリコン層22の厚みが均一化されている場合においても、単結晶シリコン層22を効率よく撓ませて、ピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} に効率よく応力をかけることが可能となるとともに、傾斜角センサの構成を簡易化して、衝撃に対する耐性も容易に向上させることが可能となる。
- 10

図41(a)～図47(a)は、本発明の第9の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す平面図、図41(b)～図47(b)および図48は、本発明の第9の実施の形態に係る傾斜角センサの製造工程を示す断面図である。

- 図41において、例えば、シリコン酸化膜20を介し単結晶シリコン層22が
15 シリコン基板21上に形成された5インチ径のSOI基板を用意する。ここで、単結晶シリコン層22の厚み T_2 は、例えば、 $50\mu\text{m}$ 程度、シリコン酸化膜20の厚み T_3 は、例えば、 $2\mu\text{m}$ 程度とすることができる。

なお、SOI基板としては、例えば、SIMOX基板またはレーザアニール基板などを用いることができる。

- 20 次に、図42に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて、ホウ素などの不純物を単結晶シリコン層22に選択的にイオン注入することにより、単結晶シリコン層22上の各チップ領域にピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} を形成する。

- そして、スパッタまたは蒸着などにより、A1膜を単結晶シリコン層22全面に形成し、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いてA1膜のパ
25 ターニングを行なうことにより、単結晶シリコン層22上の各チップ領域にA1パッド23、 P_{21} ～ P_{23} および配線 H_{21} を形成する。

ここで、単結晶シリコン層22の各チップ領域の幅 W_2 は、例えば、 1.0mm 、長さ L_2 は、例えば、 2.2mm とすることができ、これにより、5インチ径の1枚のSOI基板から、約5000個の傾斜角センサチップを得ることが可

能となる。

次に、図 4 3 に示すように、単結晶シリコン層 2 2 上の各チップ領域に形成された A 1 パッド 2 3 上に半田バンプ 2 4 を形成する。

ここで、半田バンプ 2 4 の大きさ C 2 は、例えば、0. 6 ~ 1. 2 mm 程度と
5 することができ、半田バンプ 2 4 の高さ H 2 は、例えば、0. 1 ~ 0. 4 mm 程度とすることができる。

また、半田バンプ 2 4 の形成方法としては、例えば、電解メッキまたはスクリーン印刷を用いることができ、これにより、S O I 基板から取り出される全てチップに対して、半田バンプ 2 4 を一括して形成することができ、製造工程を簡略
10 化することができる。

また、半田バンプ 2 4 の比重は、ガラスやシリコンに比べて 3 倍以上度あるので、同じ錘効果を得る場合、半田バンプ 2 4 の体積を 1 / 3 以下にすることができ、半田バンプ 2 4 の小型化を図ることが可能となる。

次に、図 4 4 に示すように、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術
15 を用いて、半田バンプ 2 4 が形成された単結晶シリコン層 2 2 を選択的にエッチングすることにより、単結晶シリコン層 2 2 にくびれ 2 2 a を形成するとともに、半田バンプ 2 4 の周囲の単結晶シリコン層 2 2 が各チップごとに切り離されるようにする。

なお、単結晶シリコン層 2 2 のエッチング方法としては、例えば、K O H を用
20 いたウェットエッチングを用いることができる。

次に、図 4 5 に示すように、単結晶シリコン層 2 2 にくびれ 2 2 a が形成された S O I 基板を弗酸などの薬液に浸し、単結晶シリコン層 2 2 が選択的に除去された部分を介して、シリコン酸化膜 2 0 を薬液に接触させる。

そして、薬液によりシリコン酸化膜 2 0 をエッチングしながら、単結晶シリ
25 ン層 2 2 の下方に薬液を回り込ませ、パッド P 2 1 ~ P 2 3 が形成された単結晶シリコン層 2 2 の下方のシリコン酸化膜 2 0 を残しつつ、半田バンプ 2 4 が形成された単結晶シリコン層 2 2 の下方のシリコン酸化膜 2 0 を除去する。

これにより、半田バンプ 2 4 が形成された単結晶シリコン層 2 2 の下方に隙間 2 0 a を形成することができ、残存するシリコン酸化膜 2 0 を支点として単結晶

シリコン層 22 が撓み可能な状態に、単結晶シリコン層 22 を保持することができ
きる。

- 次に、図 46 に示すように、単結晶シリコン層 22 の下方に隙間 20a が形成
された SOI 基板をダイシングライン L11、L12 に沿ってダイシングするこ
5 により、半田バンプ 24 が表面に形成されるとともに、シリコン酸化膜 20 で
裏面が支持された単結晶シリコン層 22 をチップ状に切り出す。

次に、図 47 に示すように、半田バンプ 24 が表面に形成されるとともに、シ
リコン酸化膜 20 で裏面が支持された単結晶シリコン層 22 を、パッケージ 26
内にダイボンドする。

- 10 そして、ワイヤボンディングを行なうことにより、パッケージ 26 に設けられ
た端子 27 と単結晶シリコン層 22 上に形成された A1 パッド P21～P23 と
を金ワイヤ 25 で接続する。

次に、図 48 に示すように、パッケージ 26 に蓋 28 を接着することにより、
傾斜角センサを封止する。

- 15 これにより、薄膜化された単結晶シリコン層 22 の貼り合わせを行うことなく、
薄膜化された単結晶シリコン層 22 を支持することが可能となり、ピエゾ抵抗 R
21、R22 が形成された単結晶シリコン層 22 を効率よく撓ませることが可能
となる。

- また、ピエゾ抵抗 R21、R22 を支持するシリコン基板 21 の裏面を選択的
20 にエッチングすることなく、比重の大きな半田バンプ 24 を単結晶シリコン層 2
2 上に形成することが可能となり、半田バンプ 24 の小型化を図りつつ、半田バ
ンプ 24 を容易に形成することが可能となる。

- このため、傾斜角センサの製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コ
スト化を図ることが可能となるとともに、傾斜角センサの検出精度を容易に向上
25 させることが可能となる。

なお、第 9 の実施の形態では、単結晶シリコン層 22 をシリコン酸化膜 20 で
支持するために、SOI 基板を用いる方法について説明したが、貼り合わせ基板
を用いるようにしてもよい。

また、第 9 の実施の形態では、単結晶シリコン層 22 が撓みやすくするために、

くびれ 22 a を設けた例について説明したが、くびれ 22 a は必ずしも設けなくてもよい。

また、第 9 の実施の形態では、半田バンプ 24 の周囲の単結晶シリコン層 22 を各チップごとに切り離すために、単結晶シリコン層 22 をエッチングする方法 5 について説明したが、ダイシングにより、半田バンプ 24 の周囲の単結晶シリコン層 22 を各チップごとに切り離すようにしてもよい。

また、第 9 の実施の形態では、半田バンプ 24 を各チップごとに 1 個ずつ設ける方法について説明したが、半田バンプ 24 を各チップごとに複数設けるようにしてもよい。

10 [第 10 の実施の形態]

次に、本発明の第 10 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 49 ないし図 55 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角測定方法の第 10 の実施の形態を示す図である。

本実施の形態は、傾斜角センサおよび傾斜角測定方法を、図 49 に示すように、
15 複数のピエゾ抵抗により異なる方向の傾斜角 η 、 ϕ を検出する場合について適用したものである。

図 49 (a) は、本発明の第 10 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図であり、図 49 (b) は、図 49 (a) の A1-A1 線で切断した断面図である。

20 図 49 において、支持部材 101 a の上には、支持部材 101 b が形成されており、支持部材 101 b がシリコン基板 102 の端部 102 a の裏面に接合してシリコン基板 102 の端部 102 a を裏面から支持している。また、シリコン基板 102 の端部 102 b の上には、錘部材 104 が形成されている。

シリコン基板 102 の端部 102 a と端部 102 b との間には、くびれ状の梁部 102 c が形成されている。このように、支持部材 101 b で端部 102 a を固定し端部 102 b に錘部材 104 を形成したことにより、傾斜角センサを傾けた場合、錘部材 104 の重力方向が変化し、梁部 102 c が撓みまたはねじれる。
したがって、梁部 102 c が変位可能領域となるので、梁部 102 c の撓み度合いまたはねじれ度合いを測定することにより傾斜角センサの傾斜角を測定するこ

とができる。なお、図49の場合において、シリコン基板102の撓み方向は、シリコン基板102の厚さ方向となり、シリコン基板102のねじれ方向は、シリコン基板102の幅の midpoint を通る中心線A1-A1を軸とする回転方向となる。

- シリコン基板102は、n型シリコン基板であり、錘部材104の重力方向の
5 変化によって撓みおよびねじれ可能となるまで薄く形成されている。また、結晶面(100)が表面となり、 $\langle 110 \rangle$ 方向がシリコン基板102の長手方向と一致するように形成されている。

錘部材104は、バンプ実装技術を用いてAuまたは半田等の金属塊をシリコン基板102の表面に形成することにより形成されている。

- 10 梁部102cの上には、ピエゾ抵抗R11、R12、R13、R14、R21、R22、R23およびR24が形成されている。ピエゾ抵抗R11、R12、R13、R14、R21、R22、R23およびR24は、シリコン基板102の表面にボロン等のp型不純物を拡散させまたはイオン注入することにより形成されている。
- 15 ピエゾ抵抗R11およびR14は、梁部102cのうちシリコン基板102の短手方向の midpoint を通る中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置されている。ピエゾ抵抗R21およびR24は、中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置され、かつ、ピエゾ抵抗R11およびR14よりも中心線A1-A1寄りに配置されている。
- 20 ピエゾ抵抗R12およびR13は、中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置され、かつ、ピエゾ抵抗R11およびR14とシリコン基板102の短手方向の位置が同一でピエゾ抵抗R11およびR14よりも錘部材104寄りに配置されている。ピエゾ抵抗R22およびR23は、中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置され、かつ、ピエゾ抵抗R21およびR24とシリコン基板
- 25 2の短手方向の位置が同一でピエゾ抵抗R21およびR24よりも錘部材104寄りに配置されている。

これにより、ピエゾ抵抗R11、R12、R13、R14、R21、R22、R23およびR24が形成されたシリコン基板102の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓みおよびねじれ可能な状態でシリコン基板102を支持する

ことが可能となるとともに、既存のフリップチップ実装技術との整合性をとりつつ、錘部材 104 の比重を容易に増大させて、錘部材 104 の縮小化を図ることが可能となる。

- このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの
5 小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

図 50 (a) は、シリコン基板 102 を長手方向に切断した断面からみたときの傾斜角センサの座標系を定義した図であり、図 50 (b) は、シリコン基板 102 を短手方向に切断した断面からみたときの傾斜角センサの座標系を定義した
10 図である。

図 50 (a) において、シリコン基板 102 の長手方向を x 軸、シリコン基板 102 の短手方向の軸を y 軸、 x 軸および y 軸に垂直な方向の軸を z 軸と定義する。また、錘部材 104 の重力 W の x 軸方向成分を G_x 、錘部材 104 の重力 W の z 軸方向成分を G_z と定義する。また、水平面 L と x 軸とのなす角度を傾斜角
15 ϕ (y 軸回りの傾斜角) と定義する。

図 50 (b) において、錘部材 104 の重力 W の y 軸方向成分を G_y と定義し、水平面 L と y 軸とのなす角度を傾斜角 η (x 軸回りの傾斜角) と定義する。

図 51 (a) は、ピエゾ抵抗 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} および R_{14} の結線構成を示す回路図であり、図 51 (b) は、ピエゾ抵抗 R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} およ
20 び R_{24} の結線構成を示す回路図である。

図 51 (a) において、ピエゾ抵抗 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} および R_{14} は、フルブリッジ回路 C_1 を構成している。フルブリッジ回路 C_1 では、ピエゾ抵抗 R_{11} の一端とピエゾ抵抗 R_{13} の一端を接続してピエゾ抵抗 R_{11} および R_{13} を直列に接続し、ピエゾ抵抗 R_{12} の一端とピエゾ抵抗 R_{14} の一端を接続してピエゾ抵抗 R_{12} および R_{14} を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗 R_{11} の他端およびピエゾ抵抗 R_{14} の他端を電源 V_i のプラス電位側に接続し、ピ
25 エゾ抵抗 R_{12} の他端およびピエゾ抵抗 R_{13} の他端を電源 V_i のマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗 R_{11} (R_{13}) の一端とピエゾ抵抗 R_{12} (R_{14}) の一端との電位差をフルブリッジ回路 C_1 の出力電圧 V_o1 とす

る。

図51(b)において、ピエゾ抵抗R21、R22、R23およびR24は、フルブリッジ回路C2を構成している。フルブリッジ回路C2では、ピエゾ抵抗R21の一端とピエゾ抵抗R23の一端を接続してピエゾ抵抗R21およびR23を直列に接続し、ピエゾ抵抗R22の一端とピエゾ抵抗R24の一端を接続してピエゾ抵抗R22およびR24を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗R21の他端およびピエゾ抵抗R24の他端を電源Viのプラス電位側に接続し、ピエゾ抵抗R22の他端およびピエゾ抵抗R23の他端を電源Viのマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗R21(R23)の一端とピエゾ抵抗R22(R24)の一端との電位差をフルブリッジ回路C2の出力電圧Vo2とする。

次に、傾斜角センサの傾斜角 ϕ 、 η を測定する場合を説明する。

錘部材104の重力Wのz軸方向成分Gzにより梁部102cに曲げモーメントが発生し、梁部102cが撓むが、傾斜角センサをx軸回りまたはy軸回りに傾斜させると、Wの方向が変化するためGzが変化し、撓み量も変化する。曲げモーメントによる梁部102c上のx軸方向の応力 σ_{x1} は、Gzに比例し、Gzが下式(1)の関係を満たすことから、下式(2)として表すことができる。

$$G_z = W \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (1)$$

$$\sigma_{x1} \propto \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (2)$$

次に、傾斜角センサをx軸回りに傾斜させると、錘部材104の重力方向が変化してGyにより梁部102cにねじりモーメントが発生し、梁部102cがねじれる。ねじりモーメントによる梁部102c上のx軸方向の応力 σ_{x2} は、Gyに比例し、Gyが下式(3)の関係を満たすことから、下式(4)として表すことができる。

$$G_y = W \sin \eta \quad \dots\dots (3)$$

$$\sigma_{x2} \propto \sin \eta \quad \dots\dots (4)$$

なお、Gxは梁部102cに曲げモーメントを発生させるが、Gzによる曲げモーメントと比較して小さいので無視することができる。

ピエゾ抵抗がp型Siであり、シリコン基板102の結晶面(100)が表面

となり、かつ、ピエゾ抵抗の方向がシリコン基板102の結晶方向<110>と平行である場合、ピエゾ抵抗の抵抗変化率 β は、下式(5)により表すことができる。

$$\beta = \pi_{44}(\sigma_l - \sigma_t) \quad \dots\dots (5)$$

上式(5)において、 π_{44} は、ピエゾ抵抗係数と呼ばれるもので、不純物濃度 $10^{18}[\text{cm}^{-3}]$ のp型Siである場合は約 $1.3 \times 10^{-9}[\text{Pa}^{-1}]$ となる。また、 σ_l は、ピエゾ抵抗にかかる縦方向の応力、 σ_t は、ピエゾ抵抗にかかる横方向の応力である。

ピエゾ抵抗がx軸方向を向いている場合、 σ_l は、下式(6)により表すことができる。

$$\sigma_l = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} \quad \dots\dots (6)$$

また、 σ_t は、ピエゾ抵抗にかかるy軸方向の応力になるが、 $\sigma_{x1} + \sigma_{x2}$ と比較して小さいので無視することができる。これにより、 β は、下式(7)により表すことができる。

$$\beta = A \cos \phi \cos \eta + B \sin \eta \quad \dots\dots (7)$$

上式(7)において、A、Bは、比例定数である。

図49に示すように、ピエゾ抵抗が中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置されている場合、対称の位置にあるピエゾ抵抗の対については、 σ_{x1} は同一またはほぼ同一の値となり、 σ_{x2} は、絶対値が同一またはほぼ同一となり符号が逆になる。したがって、各ピエゾ抵抗R11、R12、R13、R14、R21、R22、R23およびR24の抵抗変化率 β_{11} 、 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{14} 、 β_{21} 、 β_{22} 、 β_{23} および β_{24} は、下式(8)～(15)により表すことができる。

$$R11の抵抗変化率 \beta_{11} = A1 \cos \phi \cos \eta + B1 \sin \eta \quad \dots\dots (8)$$

$$R12の抵抗変化率 \beta_{12} = C1 \cos \phi \cos \eta + D1 \sin \eta \quad \dots\dots (9)$$

$$R13の抵抗変化率 \beta_{13} = C1 \cos \phi \cos \eta - D1 \sin \eta \quad \dots\dots (10)$$

$$R14の抵抗変化率 \beta_{14} = A1 \cos \phi \cos \eta - B1 \sin \eta \quad \dots\dots (11)$$

$$R21の抵抗変化率 \beta_{21} = A2 \cos \phi \cos \eta + B2 \sin \eta \quad \dots\dots (12)$$

$$R22の抵抗変化率 \beta_{22} = C2 \cos \phi \cos \eta + D2 \sin \eta \quad \dots\dots (13)$$

$$R_{23} \text{の抵抗変化率 } \beta_{23} = C_2 \cos \phi \cos \eta - D_2 \sin \eta \quad \dots\dots (14)$$

$$R_{24} \text{の抵抗変化率 } \beta_{24} = A_2 \cos \phi \cos \eta - B_2 \sin \eta \quad \dots\dots (15)$$

上式(8)～(15)において、 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 、 A_2 、 B_2 、 C_2 および D_2 は、比例定数である。

- さらに、 $\sigma \times 1 = \sigma \times 2 = 0$ における各ピエゾ抵抗 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 、 R_{14} 、 R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} および R_{24} の値がすべて等しい場合、フルブリッジ回路 C_1 の出力電圧 V_{o1} およびフルブリッジ回路 C_2 の出力電圧 V_{o2} は、近似的に下式(16)、(17)により表すことができる。

$$V_{o1} = E_1 \sin \eta \quad \dots\dots (16)$$

$$V_{o2} = E_2 \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (17)$$

上式(16)、(17)において、 E_1 、 E_2 は、下式(18)、(19)により表すことができる。

$$E_1 = -\frac{B_1 + D_1}{2} \times V_i \quad \dots\dots (18)$$

$$E_2 = -\frac{A_2 - C_2}{2} \times V_i \quad \dots\dots (19)$$

- すなわち、 V_{o1} は $\sin \eta$ に、 V_{o2} は $\cos \phi \cos \eta$ にそれぞれ比例した値となる。

傾斜角センサは、出力電圧 V_{o1} 、 V_{o2} に基づいて傾斜角 ϕ 、 η を算出する傾斜角算出部を有している。

傾斜角算出部は、傾斜角 ϕ 、 η を測定するときは、まず、ステップ $S100$ に移行するようになっている。

- ステップ $S100$ では、 E_1 、 E_2 を算出する。これには、種々の方法があるが、例えば、 $\eta = 90^\circ$ および $\eta = -90^\circ$ における V_{o1} をそれぞれ測定して V_{o11} 、 V_{o12} とし、また、 $\eta = 0^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ および $\eta = 0^\circ$ 、 $\phi = 180^\circ$ における V_{o2} をそれぞれ測定して V_{o21} 、 V_{o22} とすれば、 E_1 、 E_2 は、下式(20)、(21)により算出することができる。

$$E_1 = V_{o11} - V_{o12} \quad \dots\dots (20)$$

$$E2 = Vo21 - Vo22 \quad \dots\dots (21)$$

なお、ステップS100は、例えば、工場出荷時に実施して、算出結果を不揮発性メモリに記憶しておけばよい。

次いで、ステップS102に移行して、Vo1およびVo2を算出し、ステップS104に移行して、下式(22)により傾斜角 η を算出し、ステップS106
5 に移行して、下式(23)により傾斜角 ϕ を算出し、一連の処理を終了して元の処理に復帰させる。

$$\eta = \sin^{-1}(Vo1/E1) \quad \dots\dots (22)$$

$$\phi = \cos^{-1}(Vo2/(E2 \times \cos \eta)) \quad \dots\dots (23)$$

[実施例]

次に、本実施の形態の実施例を説明する。

図52は、シリコン基板102およびピエゾ抵抗の寸法条件を示す図である。

10 図52において、端部102aの長手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは800[μ m]、端部102aの短手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは200[μ m]である。また、梁部102cの長手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは800[μ m]、梁部102cの短手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは200[μ m]である。また、シリコン基板102の厚さ
15 は、20[μ m]である。

錘部材104の長手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは600[μ m]、錘部材104の短手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは500[μ m]であり、錘部材104の厚さは30[μ m]である。また、錘部材104の材質は金である。

20 ピエゾ抵抗R11、R21、R24およびR14は、端部102aからシリコン基板102の長手方向に150[μ m]離れたところに配置されており、ピエゾ抵抗R12、R22、R23およびR13は、ピエゾ抵抗R11、R21、R24およびR14からシリコン基板102の長手方向に200[μ m]離れたところに配置されている。また、ピエゾ抵抗R24およびR23は、ピエゾ抵抗14およびR13からシリコン基板102の短手方向に60[μ m]離れたところに配置さ
25 れており、ピエゾ抵抗R21およびR22は、ピエゾ抵抗R24およびR23か

らシリコン基板 102 の短手方向に $40[\mu\text{m}]$ 離れたところに配置されている。また、ピエゾ抵抗 $R11$ および $R12$ は、ピエゾ抵抗 $R21$ および $R22$ からシリコン基板 102 の短手方向に $60[\mu\text{m}]$ 離れたところに配置されている。

各ピエゾ抵抗 $R11$ 、 $R12$ 、 $R13$ 、 $R14$ 、 $R21$ 、 $R22$ 、 $R23$ および $R24$ の長さ、幅、表面不純物濃度および拡散深さは、それぞれ $50[\mu\text{m}]$ 、 $10[\mu\text{m}]$ 、 $10^{18}[\text{cm}^{-3}]$ および $0.45[\mu\text{m}]$ である。

図 53 (a) は、ピエゾ抵抗 $R11$ 、 $R12$ 、 $R13$ および $R14$ の結線構成を示す回路図であり、図 53 (b) は、ピエゾ抵抗 $R21$ 、 $R22$ 、 $R23$ および $R24$ の結線構成を示す回路図である。

10 結線構造は、図 51 と同様である。ただし、電源電圧 V_i は、フルブリッジ回路 $C1$ 、 $C2$ とともに $5[\text{V}]$ に設定した。

図 54 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_{o1} の変化を示すグラフであり、図 54 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_{o1} の変化を示すグラフである。

15 傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o1} は、図 54 (a) に示すように、 $\sin \eta$ にほぼ比例していることが分かる。また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o1} は、図 54 (b) に示すように、傾斜角 ϕ の増減にかかわらずほぼゼロとなることが分かる。

20 図 55 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_{o2} の変化を示すグラフであり、図 55 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_{o2} の変化を示すグラフである。

傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o2} は、図 55 (a) に示すように、 $\cos \eta$ にほぼ比例していることが分かる。
25 また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o2} は、図 55 (b) に示すように、 $\cos \phi$ にほぼ比例していることが分かる。

このようにして、本実施の形態では、表面にピエゾ抵抗が形成されたシリコン基板 102 と、シリコン基板 102 の一端でシリコン基板 102 を支持する支持

- 部材 101b と、シリコン基板 102 の端部 102b に配置された錘部材 104 と、傾斜角 ϕ 、 η を算出する傾斜角算出部とを備え、ピエゾ抵抗 R11 および R14、ピエゾ抵抗 R21 および R24、ピエゾ抵抗 R12 および R13、並びにピエゾ抵抗 R22 および R23 を、中心線 A1-A1 を軸として線対称の位置に
- 5 配置し、ピエゾ抵抗 R11、R12、R13 および R14 によりフルブリッジ回路 C1 を構成するとともに、ピエゾ抵抗 R21、R22、R23 および R24 によりフルブリッジ回路 C2 を構成し、傾斜角算出部は、フルブリッジ回路 C1 の出力電圧 V_{o1} に基づいて傾斜角 η を算出し、フルブリッジ回路 C2 の出力電圧 V_{o2} および算出した傾斜角 η に基づいて傾斜角 ϕ を算出するようになっている。
- 10 これにより、比重の大きな金バンプを錘部材 104 として用いることにより、錘部材 104 の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となり、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。また、厚みが均一なシリコン基板 102 を用いた場合においても、異なる方向の傾斜角 η 、
- 15 ϕ を 1 つの傾斜角センサで検出することができる。また、複数のピエゾ抵抗によりブリッジ回路 C1、C2 を構成しているので、傾斜角 η 、 ϕ の検出精度を比較的に向上させることができる。

- 上記第 10 の実施の形態において、ピエゾ抵抗 R11、R12、R13 および R14 は、請求の範囲第 23 または第 26 項記載の第 1 ピエゾ抵抗群に対応し、
- 20 ピエゾ抵抗 R21、R22、R23 および R24 は、請求の範囲第 23 または第 26 項記載の第 2 ピエゾ抵抗群に対応し、フルブリッジ回路 C1 は、請求の範囲第 23 または第 26 項記載の第 1 フルブリッジ回路に対応している。また、フルブリッジ回路 C2 は、請求の範囲第 23 または第 26 項記載の第 2 フルブリッジ回路に対応し、傾斜角算出部は、請求の範囲第 23 項記載の第 1 傾斜角算出手段、
- 25 または請求の範囲第 23 項記載の第 2 傾斜角算出手段に対応し、傾斜角算出部による算出は、請求の範囲第 26 項記載の第 1 傾斜角算出ステップ、または請求の範囲第 26 項記載の第 2 傾斜角算出ステップに対応している。

〔第 11 の実施の形態〕

次に、本発明の第 11 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 56 な

いし図 6 1 は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角測定方法の第 1 1 の実施の形態を示す図である。

本実施の形態は、傾斜角センサおよび傾斜角測定方法を、図 5 6 に示すように、複数のピエゾ抵抗により異なる方向の傾斜角 η 、 ϕ を検出する場合について適用したものであり、上記第 1 0 の実施の形態と異なるところは、ピエゾ抵抗の配置数および配置位置にある。なお、以下、上記第 1 0 の実施の形態と異なる部分についてのみ説明し、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

図 5 6 は、本発明の第 1 1 の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図である。

10 図 5 6 において、梁部 1 0 2 c の上には、ピエゾ抵抗 R 3 1、R 3 2、R 3 3、R 3 4、R 4 1 および R 4 2 が形成されている。

ピエゾ抵抗 R 3 1 および R 3 4 は、中心線 A 1 - A 1 を軸として線対称の位置に配置されている。ピエゾ抵抗 R 4 1 は、中心線 A 1 - A 1 上に配置されている。

15 ピエゾ抵抗 R 3 2 および R 3 3 は、中心線 A 1 - A 1 を軸として線対称の位置に配置され、かつ、ピエゾ抵抗 R 3 1 および R 3 4 とシリコン基板 1 0 2 の短手方向の位置が同一で、ピエゾ抵抗 R 3 1 および R 3 4 よりも錘部材 1 0 4 寄りに配置されている。ピエゾ抵抗 R 4 2 は、中心線 A 1 - A 1 上に配置され、かつ、ピエゾ抵抗 R 4 1 よりも錘部材 1 0 4 寄りに配置されている。

これにより、ピエゾ抵抗 R 3 1、R 3 2、R 3 3、R 3 4、R 4 1 および R 4 2 が形成されたシリコン基板 1 0 2 の裏面を選択的にエッチングすることなく、20 撓みおよびねじれ可能な状態でシリコン基板 1 0 2 を支持することが可能となるとともに、既存のフリップチップ実装技術との整合性をとりつつ、錘部材 1 0 4 の比重を容易に増大させて、錘部材 1 0 4 の縮小化を図ることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの 25 小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

図 5 7 (a) は、ピエゾ抵抗 R 3 1、R 3 2、R 3 3 および R 3 4 の結線構成を示す回路図であり、図 5 7 (b) は、ピエゾ抵抗 R 4 1 および R 4 2 の結線構成を示す回路図である。

図57 (a)において、ピエゾ抵抗 R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} および R_{34} は、フルブリッジ回路 C_3 を構成している。フルブリッジ回路 C_3 では、ピエゾ抵抗 R_{31} の一端とピエゾ抵抗 R_{33} の一端を接続してピエゾ抵抗 R_{31} および R_{33} を直列に接続し、ピエゾ抵抗 R_{32} の一端とピエゾ抵抗 R_{34} の一端を接続してピエゾ抵抗 R_{32} および R_{34} を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗 R_{31} の他端およびピエゾ抵抗 R_{34} の他端を電源 V_i のプラス電位側に接続し、ピエゾ抵抗 R_{32} の他端およびピエゾ抵抗 R_{33} の他端を電源 V_i のマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗 R_{31} (R_{33})の一端とピエゾ抵抗 R_{32} (R_{34})の一端との電位差をフルブリッジ回路 C_3 の出力電圧 V_{o3} とする。

図57 (b)において、ピエゾ抵抗 R_{41} および R_{42} は、ハーフブリッジ回路 C_4 を構成している。ハーフブリッジ回路 C_4 では、ピエゾ抵抗 R_{41} の一端とピエゾ抵抗 R_{42} の一端を接続してピエゾ抵抗 R_{41} および R_{42} を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗 R_{41} の他端を電源 V_i のプラス電位側に接続し、ピエゾ抵抗 R_{42} の他端を電源 V_i のマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗 R_{42} の電位差をハーフブリッジ回路 C_4 の出力電圧 V_{o4} とする。

次に、傾斜角センサの傾斜角 ϕ 、 η を測定する場合を説明する。

各ピエゾ抵抗 R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} 、 R_{34} 、 R_{41} および R_{42} の抵抗変化率 β_{31} 、 β_{32} 、 β_{33} 、 β_{34} 、 β_{41} および β_{42} は、下式(24)～(29)により表すことができる。なお、下式(24)～(29)は、上式(1)～(7)を用いて上記第10の実施の形態と同じ要領で導出することができる。

$$R_{31} \text{の抵抗変化率 } \beta_{31} = A_3 \cos \phi \cos \eta + B_3 \sin \eta \quad \dots\dots (24)$$

$$R_{32} \text{の抵抗変化率 } \beta_{32} = C_3 \cos \phi \cos \eta + D_3 \sin \eta \quad \dots\dots (25)$$

$$R_{33} \text{の抵抗変化率 } \beta_{33} = C_3 \cos \phi \cos \eta - D_3 \sin \eta \quad \dots\dots (26)$$

$$R_{34} \text{の抵抗変化率 } \beta_{34} = A_3 \cos \phi \cos \eta - B_3 \sin \eta \quad \dots\dots (27)$$

$$R_{41} \text{の抵抗変化率 } \beta_{41} = A_4 \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (28)$$

$$R_{42} \text{の抵抗変化率 } \beta_{42} = C_4 \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (29)$$

上式(24)～(29)において、 A_3 、 B_3 、 C_3 、 D_3 、 A_4 および C_4 は、比例定数である。

さらに、 $\sigma \times 1 = \sigma \times 2 = 0$ における各ピエゾ抵抗 R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} 、 R_{34} 、 R_{41} および R_{42} の値がすべて等しい場合、フルブリッジ回路C3の出力電圧 V_{o3} およびハーフブリッジ回路C4の出力電圧 V_{o4} は、近似的に下式(30)、(31)により表すことができる。

$$V_{o3} = E_3 \sin \eta \quad \dots\dots (30)$$

$$V_{o4} = \frac{V_i}{2} + E_4 \cos \phi \cos \eta \quad \dots\dots (31)$$

- 5 上式(30)、(31)において、 E_3 、 E_4 は、下式(32)、(33)により表すことができる。

$$E_3 = -\frac{B_3 + D_3}{2} \times V_i \quad \dots\dots (32)$$

$$E_4 = -\frac{A_4 - C_4}{2} \times V_i \quad \dots\dots (33)$$

すなわち、 V_{o3} は $\sin \eta$ に、 $V_{o4} - V_i / 2$ は $\cos \phi \cos \eta$ にそれぞれ比例した値となる。したがって、傾斜角算出部は、上記第10の実施の形態と同じ要領で傾斜角 ϕ 、 η を算出することができる。

10 [実施例]

次に、本実施の形態の実施例を説明する。

図58は、シリコン基板102およびピエゾ抵抗の寸法条件を示す図である。

- 図58において、端部102aの長手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは800[μm]、端部102aの短手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは200[μm]である。また、梁部102cの長手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは800[μm]、梁部102cの短手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは200[μm]である。また、シリコン基板102の厚さは、20[μm]である。

- 20 錘部材104の長手方向(シリコン基板102の短手方向)の長さは600[μm]、錘部材104の短手方向(シリコン基板102の長手方向)の長さは50

0 [μm]であり、錘部材104の厚さは30 [μm]である。また、錘部材104の材質は金である。

5 ピエゾ抵抗R31、R41およびR34は、端部102aからシリコン基板102の長手方向に150 [μm]離れたところに配置されており、ピエゾ抵抗R32、R42およびR33は、ピエゾ抵抗R31、R41およびR34からシリコン基板102の長手方向に500 [μm]離れたところに配置されている。また、ピエゾ抵抗R41およびR42は、ピエゾ抵抗R34およびR33からシリコン基板102の短手方向に80 [μm]離れたところに配置されており、ピエゾ抵抗R31およびR32は、ピエゾ抵抗R41およびR42からシリコン基板102の短手方向に80 [μm]離れたところに配置されている。

各ピエゾ抵抗R31、R32、R33、R34、R41およびR42の長さ、幅、表面不純物濃度および拡散深さは、それぞれ50 [μm]、10 [μm]、 $10^{18}[\text{cm}^3]$ および0.45 [μm]である。

15 図59(a)は、ピエゾ抵抗R31、R32、R33およびR34の結線構成を示す回路図であり、図59(b)は、ピエゾ抵抗R41およびR42の結線構成を示す回路図である。

結線構造は、図57と同様である。ただし、電源電圧 V_i は、フルブリッジ回路C3、C4ともに5[V]に設定した。

20 図60(a)は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_o3 の変化を示すグラフであり、図60(b)は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_o3 の変化を示すグラフである。

傾斜角 $\phi=0$ に固定して傾斜角センサをy軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_o3 は、図60(a)に示すように、 $\sin \eta$ にほぼ比例していることが分かる。また、傾斜角 $\eta=0$ に固定して傾斜角センサをx軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_o3 は、図60(b)に示すように、傾斜角 ϕ の増減にかかわらずほぼゼロとなることが分かる。

図61(a)は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_o4 の変化を示すグラフであり、図61(b)は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_o4 の変化を示すグラフである。

傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o4} は、図 6 1 (a) に示すように、 $V_i / 2$ をオフセットとして $\cos \eta$ にほぼ比例していることが分かる。また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o4} は、図 6 1 (b) に示すように、 $V_i / 2$ をオフセットとして $\cos \phi$ にほぼ比例していることが分かる。

このようにして、本実施の形態では、表面にpiezo抵抗が形成されたシリコン基板 102 と、シリコン基板 102 の一端でシリコン基板 102 を支持する支持部材 101b と、シリコン基板 102 の端部 102b に配置された錘部材 104 と、傾斜角 ϕ 、 η を算出する傾斜角算出部とを備え、piezo抵抗 R31 および R34、並びにpiezo抵抗 R32 および R33 を、中心線 A1-A1 を軸として線対称の位置に配置し、piezo抵抗 R41 および R42 を、中心線 A1-A1 上に配置し、piezo抵抗 R31、R32、R33 および R34 によりフルブリッジ回路 C3 を構成するとともに、piezo抵抗 R41 および R42 によりハーフブリッジ回路 C4 を構成し、傾斜角算出部は、フルブリッジ回路 C3 の出力電圧 V_{o3} に基づいて傾斜角 η を算出し、ハーフブリッジ回路 C4 の出力電圧 V_{o4} および算出した傾斜角 η に基づいて傾斜角 ϕ を算出するようになっている。

これにより、比重の大きな金バンプを錘部材 104 として用いることにより、錘部材 104 の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となり、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。また、厚みが均一なシリコン基板 102 を用いた場合においても、異なる方向の傾斜角 η 、 ϕ を 1 つの傾斜角センサで検出することができる。また、複数のpiezo抵抗によりブリッジ回路 C3、C4 を構成しているので、傾斜角 η 、 ϕ の検出精度を比較的向上させることができる。また、上記第 10 の実施の形態に比して、検出に必要なpiezo抵抗の数を低減することができる。

上記第 11 の実施の形態において、piezo抵抗 R31、R32、R33 および R34 は、請求の範囲第 24 または第 27 項記載の第 1 piezo抵抗群に対応し、piezo抵抗 R41 および R42 は、請求の範囲第 24 または第 27 項記載の第 2 piezo抵抗群に対応し、フルブリッジ回路 C3 は、請求の範囲第 24 または第 2

- 7項記載の第1フルブリッジ回路に対応している。また、ハーフブリッジ回路C4は、請求の範囲第24または第27項記載の第2ハーフブリッジ回路に対応し、傾斜角算出部は、請求の範囲第24項記載の第1傾斜角算出手段、または請求の範囲第24項記載の第2傾斜角算出手段に対応し、傾斜角算出部による算出は、
- 5 請求の範囲第27項記載の第1傾斜角算出ステップ、または請求の範囲第27項記載の第2傾斜角算出ステップに対応している。

〔第12の実施の形態〕

- 次に、本発明の第12の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図62ないし図69は、本発明に係る傾斜角センサおよび傾斜角測定方法の第12の実施
- 10 の形態を示す図である。

- 本実施の形態は、傾斜角センサおよび傾斜角測定方法を、図62に示すように、複数のピエゾ抵抗により異なる方向の傾斜角 η 、 ϕ を検出する場合について適用したものであり、上記第10の実施の形態と異なるところは、ピエゾ抵抗の配置数および配置位置にある。なお、以下、上記第10の実施の形態と異なる部分に
- 15 ついてのみ説明し、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

図62は、本発明の第12の実施の形態に係る傾斜角センサの構成を示す平面図である。

図62において、梁部102cの上には、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54が形成されている。

- 20 ピエゾ抵抗R51およびR54は、中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置されている。ピエゾ抵抗R52およびR53は、中心線A1-A1を軸として線対称の位置に配置され、かつ、ピエゾ抵抗R51およびR54とシリコン基板102の短手方向の位置が同一でピエゾ抵抗R51およびR54よりも錘部材104寄りに配置されている。

- 25 これにより、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54が形成されたシリコン基板102の裏面を選択的にエッチングすることなく、撓みおよびねじれ可能な状態でシリコン基板102を支持することが可能となるとともに、既存のフリップチップ実装技術との整合性をとりつつ、錘部材104の比重を容易に増大させて、錘部材104の縮小化を図ることが可能となる。

このため、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。

図63(a)は、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54の結線構成を示す回路図であり、図63(b)は、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54の他の結線構成を示す回路図である。

図63(a)において、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54は、フルブリッジ回路C5を構成している。フルブリッジ回路C5では、ピエゾ抵抗R51の一端とピエゾ抵抗R53の一端を接続してピエゾ抵抗R51およびR53を直列に接続し、ピエゾ抵抗R52の一端とピエゾ抵抗R54の一端を接続してピエゾ抵抗R52およびR54を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗R51の他端およびピエゾ抵抗R54の他端を電源Viのプラス電位側に接続し、ピエゾ抵抗R52の他端およびピエゾ抵抗R53の他端を電源Viのマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗R51(R53)の一端とピエゾ抵抗R52(R54)の一端との電位差をフルブリッジ回路C5の出力電圧Vo5とする。

図63(b)において、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54は、フルブリッジ回路C5とは接続が異なるフルブリッジ回路C6を構成している。フルブリッジ回路C6では、ピエゾ抵抗R51の一端とピエゾ抵抗R53の一端を接続してピエゾ抵抗R51およびR53を直列に接続し、ピエゾ抵抗R52の一端とピエゾ抵抗R54の一端を接続してピエゾ抵抗R52およびR54を直列に接続している。また、ピエゾ抵抗R51の他端およびピエゾ抵抗R52の他端を電源Viのプラス電位側に接続し、ピエゾ抵抗R53の他端およびピエゾ抵抗R54の他端を電源Viのマイナス電位側に接続している。ここで、ピエゾ抵抗R51(R53)の一端とピエゾ抵抗R52(R54)の一端との電位差をフルブリッジ回路C6の出力電圧Vo6とする。なお、フルブリッジ回路C6は、フルブリッジ回路C5の接続をスイッチング等により切り換えることにより構成する。

次に、傾斜角センサの傾斜角 ϕ 、 η を測定する場合を説明する。

各ピエゾ抵抗 R_{51} 、 R_{52} 、 R_{53} および R_{54} の抵抗変化率 β_{51} 、 β_{52} 、 β_{53} および β_{54} は、下式(34)～(37)により表すことができる。なお、下式(34)～(37)は、上式(1)～(7)を用いて上記第10の実施の形態と同じ要領で導出することができる。

$$R_{51} \text{の抵抗変化率 } \beta_{51} = A_5 \cos \phi \cos \eta + B_5 \sin \eta \quad \dots\dots (34)$$

$$R_{52} \text{の抵抗変化率 } \beta_{52} = C_5 \cos \phi \cos \eta + D_5 \sin \eta \quad \dots\dots (35)$$

$$R_{53} \text{の抵抗変化率 } \beta_{53} = C_5 \cos \phi \cos \eta - D_5 \sin \eta \quad \dots\dots (36)$$

$$R_{54} \text{の抵抗変化率 } \beta_{54} = A_5 \cos \phi \cos \eta - B_5 \sin \eta \quad \dots\dots (37)$$

- 5 上式(34)～(37)において、 A_5 、 B_5 、 C_5 および D_5 は、比例定数である。

さらに、 $\sigma_{x1} = \sigma_{x2} = 0$ における各ピエゾ抵抗 R_{51} 、 R_{52} 、 R_{53} および R_{54} の値がすべて等しい場合、フルブリッジ回路 C_5 の出力電圧 V_{o5} およびフルブリッジ回路 C_6 の出力電圧 V_{o6} は、近似的に下式(38)、(39)に

- 10 より表すことができる。

$$V_{o5} = E_5 \sin \eta \quad \dots\dots (38)$$

$$V_{o6} = E_6 \cos \phi \sin \eta \quad \dots\dots (39)$$

上式(38)、(39)において、 E_5 、 E_6 は、下式(40)、(41)により表すことができる。

$$E_5 = -\frac{B_5 + D_5}{2} \times V_i \quad \dots\dots (40)$$

$$E_6 = -\frac{A_5 - C_5}{2} \times V_i \quad \dots\dots (41)$$

- すなわち、 V_{o5} は $\sin \eta$ に、 V_{o6} は $\cos \phi \cos \eta$ にそれぞれ比例した値となる。したがって、傾斜角算出部は、上記第10の実施の形態と同じ要領
15 で傾斜角 ϕ 、 η を算出することができる。

[実施例]

次に、本実施の形態の実施例を説明する。

図64は、シリコン基板102およびピエゾ抵抗の寸法条件を示す図である。

図64において、端部102aの長手方向（シリコン基板102の短手方向）の長さは800[μm]、端部102aの短手方向（シリコン基板102の長手方向）の長さは200[μm]である。また、梁部102cの長手方向（シリコン基板102の長手方向）の長さは800[μm]、梁部102cの短手方向（シリコン基板102の短手方向）の長さは200[μm]である。また、シリコン基板102の厚さは、20[μm]である。

錘部材104の長手方向（シリコン基板102の短手方向）の長さは600[μm]、錘部材104の短手方向（シリコン基板102の長手方向）の長さは500[μm]であり、錘部材104の厚さは30[μm]である。また、錘部材104の材質は金である。

ピエゾ抵抗R51およびR54は、端部102aからシリコン基板102の長手方向に50[μm]離れたところに配置されており、ピエゾ抵抗R52およびR53は、ピエゾ抵抗R51およびR54からシリコン基板102の長手方向に200[μm]離れたところに配置されている。また、ピエゾ抵抗R51およびR52は、ピエゾ抵抗R53およびR54からシリコン基板102の短手方向に160[μm]離れたところに配置されている。

各ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54の長さ、幅、表面不純物濃度および拡散深さは、それぞれ50[μm]、10[μm]、 10^{18} [cm³]および0.45[μm]である。

図65(a)は、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54の結線構成を示す回路図であり、図65(b)は、ピエゾ抵抗R51、R52、R53およびR54の他の結線構成を示す回路図である。

結線構造は、図63と同様である。ただし、電源電圧V_iは、フルブリッジ回路C5、C6ともに5[V]に設定した。

図66(a)は、傾斜角φを一定にして傾斜角ηを変化させたときの出力電圧V_{o5}の変化を示すグラフであり、図66(b)は、傾斜角ηを一定にして傾斜角φを変化させたときの出力電圧V_{o5}の変化を示すグラフである。

傾斜角φ=0に固定して傾斜角センサをy軸回りに傾斜させると、出力電圧V_{o5}は、図66(a)に示すように、sin ηにほぼ比例していることが分かる。

また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o5} は、図 6 6 (b) に示すように、傾斜角 ϕ の増減にかかわらずほぼゼロとなることが分かる。

図 6 7 (a) は、傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_{o6} の変化を示すグラフであり、図 6 7 (b) は、傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_{o6} の変化を示すグラフである。

傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o6} は、図 6 7 (a) に示すように、 $\cos \eta$ にほぼ比例していることが分かる。
また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o6} は、図 6 7 (b) に示すように、 $\cos \phi$ にほぼ比例していることが分かる。

図 6 8 (a) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_{o5} の変化を各材質ごとに示すグラフであり、図 6 8 (b) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_{o5} の変化を各材質ごとに示すグラフである。

傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o5} は、図 6 8 (a) に示すように、 $\sin \eta$ にほぼ比例していることが分かる。
錘部材 1 0 4 を設けない場合は、変化がほとんどない。錘部材 1 0 4 を Si で構成した場合は、錘部材 1 0 4 を設けない場合に比して変化がやや大きい。錘部材 1 0 4 を半田 ($Sn 63\%$ 、 $Pb 37\%$) で構成した場合は、 Si で構成した場合に比して変化がやや大きい。錘部材 1 0 4 を Au で構成した場合は、錘部材 1 0 4 を半田で構成した場合に比して変化がやや大きい。図 6 6 (a) は、錘部材 1 0 4 を Au で構成した場合である。

また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o5} は、図 6 8 (b) に示すように、傾斜角 ϕ の増減および材質にかかわらずほぼゼロとなることが分かる。

図 6 9 (a) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 ϕ を一定にして傾斜角 η を変化させたときの出力電圧 V_{o6} の変化を各材質ごとに示す

グラフであり、図 6 9 (b) は、錘部材 1 0 4 の材質を変化させた場合において傾斜角 η を一定にして傾斜角 ϕ を変化させたときの出力電圧 V_{o6} の変化を各材質ごとに示すグラフである。

- 傾斜角 $\phi = 0$ に固定して傾斜角センサを y 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o6} は、図 6 9 (a) に示すように、 $\cos \eta$ にほぼ比例していることが分かる。
- 5 錘部材 1 0 4 を設けない場合は、変化がほとんどない。錘部材 1 0 4 を Si で構成した場合は、錘部材 1 0 4 を設けない場合に比して変化がやや大きい。錘部材 1 0 4 を半田 ($Sn 63\%$ 、 $Pb 37\%$) で構成した場合は、 Si で構成した場合に比して変化がやや大きい。錘部材 1 0 4 を Au で構成した場合は、錘部材 1
- 10 0 4 を半田で構成した場合に比して変化がやや大きい。図 6 7 (a) は、錘部材 1 0 4 を Au で構成した場合である。

また、傾斜角 $\eta = 0$ に固定して傾斜角センサを x 軸回りに傾斜させると、出力電圧 V_{o6} は、図 6 9 (b) に示すように、 $\cos \phi$ にほぼ比例していることが分かる。各材質ごとの変化については図 6 9 (a) と同様である。

- 15 このようにして、本実施の形態では、表面にピエゾ抵抗が形成されたシリコン基板 1 0 2 と、シリコン基板 1 0 2 の一端でシリコン基板 1 0 2 を支持する支持部材 1 0 1 b と、シリコン基板 1 0 2 の端部 1 0 2 b に配置された錘部材 1 0 4 と、傾斜角 ϕ 、 η を算出する傾斜角算出部とを備え、ピエゾ抵抗 R_{51} および R_{54} 、並びにピエゾ抵抗 R_{52} および R_{53} を、中心線 $A1-A1$ を軸として線
- 20 対称の位置に配置し、ピエゾ抵抗 R_{51} 、 R_{52} 、 R_{53} および R_{54} によりフルブリッジ回路 $C5$ を構成するとともに、ピエゾ抵抗 R_{51} 、 R_{52} 、 R_{53} および R_{54} によりフルブリッジ回路 $C5$ とは接続が異なるフルブリッジ回路 $C6$ を構成し、傾斜角算出部は、フルブリッジ回路 $C3$ の出力電圧 V_{o3} に基づいて傾斜角 η を算出し、ハーフブリッジ回路 $C4$ の出力電圧 V_{o4} および算出した傾
- 25 斜角 η に基づいて傾斜角 ϕ を算出するようになっている。

これにより、比重の大きな金バンプを錘部材 1 0 4 として用いることにより、錘部材 1 0 4 の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となり、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となる。また、厚み

が均一なシリコン基板 102 を用いた場合においても、異なる方向の傾斜角 η 、 ϕ を 1 つの傾斜角センサで検出することができる。また、複数のピエゾ抵抗によりブリッジ回路 C5、C6 を構成しているので、傾斜角 η 、 ϕ の検出精度を比較的向上させることができる。また、上記第 10 の実施の形態に比して、検出に必要なピエゾ抵抗の数を低減することができる。また、出力電圧 V_{o6} にオフセットを含まないので、上記第 11 の実施の形態に比して、傾斜角 η 、 ϕ の検出精度を向上させることができる。

上記第 1 2 の実施の形態において、ピエゾ抵抗 R 5 1、R 5 2、R 5 3 および R 5 4 は、請求の範囲第 2 5 または第 2 8 項記載の第 1 ピエゾ抵抗群に対応し、フルブリッジ回路 C 5 は、請求の範囲第 2 5 または第 2 8 項記載の第 1 フルブリ
10 ッジ回路に対応し、フルブリッジ回路 C 6 は、請求の範囲第 2 5 または第 2 8 項記載の第 2 フルブリッジ回路に対応している。また、傾斜角算出部は、請求の範囲第 2 5 項記載の第 1 傾斜角算出手段、または請求の範囲第 2 5 項記載の第 2 傾斜角算出手段に対応し、傾斜角算出部による算出は、請求の範囲第 2 8 項記載の
15 第 1 傾斜角算出ステップ、または請求の範囲第 2 8 項記載の第 2 傾斜角算出ステップに対応している。

〔第 13 の実施の形態〕

次に、本発明の第 13 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 70 は、本発明に係る方位角センサの第 13 の実施の形態を示す図である。

20 図70は、本発明に係る方位角センサの構成を示すブロック図である。

図 70 において、方位角センサには、3 軸磁気センサ 101、磁気センサ駆動電源部 102、チョッパ部 103、磁気センサ増幅部 104、磁気センサ A/D 変換部 105、感度・オフセット補正部 106、傾斜角センサ 107、傾斜角センサ増幅部 108、傾斜角センサ A/D 変換部 109、傾斜補正部 110 および方位角計算部 111 が設けられている。

3軸磁気センサ101には、方位角センサの縦方向をx軸としてx軸方向の地磁気成分を検出するx軸地磁気センサHE_x、方位角センサの横方向をy軸としてy軸方向の地磁気成分を検出するy軸地磁気センサHE_yおよび方位角センサの厚さ方向をz軸としてz軸方向の地磁気成分を検出するz軸地磁気センサHE_z

z が設けられている。

チョッパ部 103 は、x 軸地磁気センサ HE x、y 軸地磁気センサ HE y およ
び z 軸地磁気センサ HE z をそれぞれ駆動する端子を切り換えるためのもので、
磁気センサ駆動電源部 102 から出力された駆動電圧を、x 軸地磁気センサ HE
5 x、y 軸地磁気センサ HE y および z 軸地磁気センサ HE z にそれぞれ印加し、
x 軸地磁気センサ HE x、y 軸地磁気センサ HE y および z 軸地磁気センサ HE
z から出力されたセンサ信号を時分割的に磁気センサ増幅部 104 に出力するよ
うになっている。

磁気センサ A/D 変換部 105 は、x 軸地磁気センサ HE x、y 軸地磁気セン
10 サ HE y および z 軸地磁気センサ HE z からのセンサ信号を A/D 変換し、変換
したデジタルデータをそれぞれ x 軸地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データお
よび z 軸地磁気測定データとして感度・オフセット補正部 106 に出力するよう
になっている。

感度・オフセット補正部 106 は、磁気センサ A/D 変換部 105 からの x 軸
15 地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データおよび z 軸地磁気測定データに基づい
て、x 軸地磁気センサ HE x、y 軸地磁気センサ HE y および z 軸地磁気センサ
HE z のオフセットおよび感度補正係数を算出し、算出したオフセットおよび感
度補正係数に基づいて、x 軸地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データおよび z
軸地磁気測定データを補正するようになっている。

20 傾斜角センサ 107 は、x 軸を回転軸とする傾斜角 η および y 軸を回転軸とす
る傾斜角 ϕ を検出し、出力されたセンサ信号を傾斜角センサ増幅部 108 へ出力
するようになっている。

傾斜角センサ A/D 変換部 109 は、傾斜角センサ 107 からのセンサ信号を
A/D 変換し、変換したデジタルデータを傾斜角 η 測定データおよび傾斜角 ϕ 測
25 定データとして傾斜補正部 110 へ出力するようになっている。

傾斜補正部 110 は、傾斜角センサ A/D 変換部 109 からの傾斜角 η 測定デ
ータおよび傾斜角 ϕ 測定データに基づいて、感度・オフセット補正部 106 から
の x 軸地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データおよび z 軸地磁気測定データを
補正するようになっている。

方位角計算部 111 は、傾斜補正部 110 からの x 軸地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データおよび z 軸地磁気測定データに基づいて方位角を算出するようになっている。

- 5 これにより、方位角センサの大型化およびコストアップを抑えつつ、方位角センサを水平面に置くことなく方位角を比較的正確に計測することが可能となる。

- 10 上記第 13 の実施の形態において、x 軸方向の地磁気成分、y 軸方向の地磁気成分および z 軸方向の地磁気成分は、請求の範囲第 29 項記載の地磁気成分に対応し、3 軸磁気センサ 101 は、請求の範囲第 29 項記載の地磁気検出手段に対応し、x 軸地磁気測定データ、y 軸地磁気測定データおよび z 軸地磁気測定データは請求の範囲第 29 項記載の地磁気データに対応し、傾斜角センサ 107 は、請求の範囲第 29 項記載の傾斜角センサに対応し、傾斜角 η 測定データおよび傾斜角 ϕ 測定データは、請求の範囲第 29 項記載の傾斜角データに対応し、傾斜補正部 110 および方位角計算部 111 は、請求の範囲第 29 項記載の方位角算出手段に対応している。

- 15 [第 14 の実施の形態]

次に、本発明の第 14 の実施の形態を説明する。

本発明に係る携帯電話は、第 13 の実施の形態における方位角センサを携帯電話に内蔵したものである。

- 20 これにより、携帯電話の大型化およびコストアップを抑えつつ、携帯電話を水平に保つことなくユーザーが普段使う姿勢のままで方位角を比較的正確に計測することが可能となる。

なお、上記第 1 ないし第 12 の実施の形態においては、シリコン基板上にピエゾ抵抗を形成する方法について説明したが、Ge 基板や InSb 基板を用いるようにしてもよい。

- 25 また、上記第 1 ないし第 12 の実施の形態において、傾斜角センサは、例えば、電子ペット、ロボット、ゲームコントローラなどのモーションセンサ、ゲーム機などの携帯端末の傾斜による画面操作装置、携帯端末用ナビゲーションシステム、傾斜・振動・感振などのモニタ装置などに利用することができる。

また、上記第 1 ないし第 12 の実施の形態においては、傾斜角センサについて

説明したが、加速度センサに適用してもよい。

また、上記第8および第9の実施の形態においては、金属錘部材として半田バンプを例にとって説明したが、金バンプを用いるようにしてもよい。

- 5 また、上記第8および第9の実施の形態においては、1軸の傾斜角センサを例
5 に取って説明したが、2軸の傾斜角センサに適用するようにしてもよい。

また、上記第10の実施の形態においては、 piezo抵抗R11、R12、R13およびR14の向きをシリコン基板102の長手方向としたが、これに限らず、対となるpiezo抵抗の向きが同一であるならば、それらの向きをシリコン基板102の短手方向としてもよい。

- 10 図71は、piezo抵抗R11、R12、R13およびR14の配置を示す図である。

図71(a)において、piezo抵抗R11およびR14は、シリコン基板102の長手方向を向いて配置されており、piezo抵抗R12およびR13は、シリコン基板102の短手方向を向いて配置されている。

- 15 図71(b)において、piezo抵抗R11、R12、R13およびR14はいずれも、シリコン基板102の短手方向を向いて配置されている。

また、上記第10の実施の形態においては、piezo抵抗R21、R22、R23およびR24の向きをシリコン基板102の長手方向としたが、これに限らず、対となるpiezo抵抗の向きが同一であるならば、それらの向きをシリコン基板102の短手方向としてもよい。

- 20 図72は、piezo抵抗R21、R22、R23およびR24の配置を示す図である。

図72(a)において、piezo抵抗R21およびR24は、シリコン基板102の長手方向を向いて配置されており、piezo抵抗R22およびR23は、シリコン基板102の短手方向を向いて配置されている。

- 25 図72(b)において、piezo抵抗R21、R22、R23およびR24はいずれも、シリコン基板102の短手方向を向いて配置されている。

また、上記第11の実施の形態においては、piezo抵抗R31、R32、R33およびR34の向きをシリコン基板102の長手方向としたが、これに限らず、

対となるピエゾ抵抗の向きが同一であるならば、それらの向きをシリコン基板 102 の短手方向としてもよい。

図 73 は、ピエゾ抵抗 R31、R32、R33 および R34 の配置を示す図である。

- 5 図 73 (a) において、ピエゾ抵抗 R31 および R34 は、シリコン基板 102 の長手方向を向いて配置されており、ピエゾ抵抗 R32 および R33 は、シリコン基板 102 の短手方向を向いて配置されている。

図 73 (b) において、ピエゾ抵抗 R31、R32、R33 および R34 はいずれも、シリコン基板 102 の短手方向を向いて配置されている。

- 10 また、上記第 11 の実施の形態においては、ピエゾ抵抗 R41 および R42 の向きをシリコン基板 102 の長手方向としたが、これに限らず、対となるピエゾ抵抗の向きが同一であるならば、それらの向きをシリコン基板 102 の短手方向としてもよい。

図 74 は、ピエゾ抵抗 R41 および R42 の配置を示す図である。

- 15 図 74 において、ピエゾ抵抗 R41 および R42 はいずれも、シリコン基板 102 の短手方向を向いて配置されている。

また、上記第 12 の実施の形態においては、ピエゾ抵抗 R51、R52、R53 および R54 の向きをシリコン基板 102 の長手方向としたが、これに限らず、対となるピエゾ抵抗の向きが同一であるならば、それらの向きをシリコン基板 1

- 20 02 の短手方向としてもよい。

図 75 は、ピエゾ抵抗 R51、R52、R53 および R54 の配置を示す図である。

図 75 (a) において、ピエゾ抵抗 R51、R52、R53 および R54 はいずれも、シリコン基板 102 の短手方向を向いて配置されている。

- 25 図 75 (b) において、ピエゾ抵抗 R51 および R54 は、シリコン基板 102 の長手方向を向いて配置されており、ピエゾ抵抗 R52 および R53 は、シリコン基板 102 の短手方向を向いて配置されている。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る請求の範囲第 1 ないし第 10 項記載の傾斜角センサ、または請求の範囲第 11 ないし第 16 項記載の傾斜角センサの製造方法によれば、変位部を形成するために、フォトリソグラフィ技術を用いた選択的なエッチングを行なう必要がなくなり、傾斜角センサの構成および製造工程を簡易化して、傾斜角センサのコストを下げることも可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となるという効果が得られる。

一方、本発明に係る請求の範囲第 17 ないし第 19 項記載の傾斜角センサ、または請求の範囲第 20 ないし第 22 項記載の傾斜角センサの製造方法によれば、変位部を形成するために、基板の裏面を選択的にエッチングする必要がなくなる。

また、比重の大きな金属バンプを錘部材として用いることにより、錘部材の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。したがって、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となるという効果が得られる。

一方、本発明に係る請求の範囲第 23 項記載の傾斜角センサによれば、変位部を形成するために、基板の裏面を選択的にエッチングする必要がなくなる。また、比重の大きな金属バンプを錘部材として用いることにより、錘部材の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。したがって、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となるとともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となるという効果が得られる。また、厚みが均一な撓み板を用いた場合においても、2 軸の傾斜角を 1 つの傾斜角センサで検出することができるという効果も得られる。また、複数のピエゾ抵抗によりブリッジ回路を構成しているので、2 軸の傾斜角の検出精度を比較的向上させることができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第 24 項記載の傾斜角センサによれば、変位部を形成するために、基板の裏面を選択的にエッチングする必要がなくなる。また、比重の大きな金属バンプを錘部材として用いることにより、錘部材の小型化を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能となる。したがって、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となると

ともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となるという効果が得られる。
また、厚みが均一な撓み板を用いた場合においても、2軸の傾斜角を1つの傾斜
角センサで検出することができるという効果も得られる。また、複数のピエゾ抵
抗によりブリッジ回路を構成しているので、2軸の傾斜角の検出精度を比較的向
5 上させることができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第25項記載の傾斜角センサによれば、変位
部を形成するために、基板の裏面を選択的にエッチングする必要がなくなる。ま
た、比重の大きな金属バンプを錘部材として用いることにより、錘部材の小型化
を図りつつ、既存のフリップチップ実装技術と容易に整合性をとることが可能と
10 なる。したがって、傾斜角センサの小型・低コスト化を図ることが可能となると
ともに、衝撃に対する耐性も向上させることが可能となるという効果が得られる。
また、厚みが均一な撓み板を用いた場合においても、2軸の傾斜角を1つの傾斜
角センサで検出することができるという効果も得られる。また、複数のピエゾ抵
抗によりブリッジ回路を構成しているので、2軸の傾斜角の検出精度を比較的向
15 上させることができるという効果も得られる。

一方、本発明に係る請求の範囲第26項記載の傾斜角測定方法によれば、請求
の範囲第23項記載の傾斜角センサと同等の効果が得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第27項記載の傾斜角測定方法によれば、請
求の範囲第24項記載の傾斜角センサと同等の効果が得られる。

20 さらに、本発明に係る請求の範囲第28項記載の傾斜角測定方法によれば、請
求の範囲第25項記載の傾斜角センサと同等の効果が得られる。

一方、本発明に係る請求の範囲第29項記載の方位角センサによれば、請求の
範囲第1項ないし第10項、請求の範囲第17項ないし第19項、または請求項
第23項ないし第25項記載の傾斜角センサを用いて地磁気データの傾斜補正を
25 行うことにより、方位角センサの大型化およびコストアップを抑えつつ、方位角
センサを水平面に置くことなく方位角を比較的正確に計測することが可能となる。

一方、本発明に係る請求の範囲第30項記載の携帯電話によれば、請求の範囲
第29項記載の方位角センサを用いることにより、携帯電話の大型化およびコス
トアップを抑えつつ、携帯電話を水平に保つことなくユーザーが普段使う姿勢の

ままだ方位角を比較的正确に計測することが可能となる。

請 求 の 範 囲

1. 表面にピエゾ抵抗が形成され、撓み可能な厚みまで裏面全体が均一に研削された基板と、
前記基板の少なくとも一端で前記基板を支持する支持部材とを備えることを特
5 徴とする傾斜角センサ。
2. 請求の範囲第1項において、
前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域に配置された錘部材をさらに備えること
を特徴とする傾斜角センサ。
3. 請求の範囲第1および第2項のいずれかにおいて、
10 前記ピエゾ抵抗は、前記基板の表面に2次元的に配置されていることを特徴と
する傾斜角センサ。
4. 請求の範囲第3項において、
前記ピエゾ抵抗は、前記基板の撓み量を検出するよう前記基板の表面に配置さ
れたピエゾ抵抗と、前記基板の捻れ量を検出するよう前記基板の表面に配置され
15 たピエゾ抵抗とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。
5. 変位可能な自由表面を有する6面体短冊形弾性体と、
前記6面体短冊形弾性体の同一面上の長手方向に少なくとも2個所以上設けら
れ、少なくとも1つは前記自由表面上に配置されたピエゾ抵抗と、
前記6面体短冊形弾性体の長手方向の両端を支持する支持部材と、
20 前記6面体短冊形弾性体の変位可能領域の長手方向のほぼ中央に設けられた錘
部材とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。
6. 変位可能な自由表面を有する6面体短冊形弾性体と、
前記6面体短冊形弾性体の同一面上の長手方向に少なくとも2個所以上設けら
れ、少なくとも1つは前記自由表面上に配置されたピエゾ抵抗と、
25 前記6面体短冊形弾性体の長手方向の一端を支持する支持部材と、
前記6面体短冊形弾性体の長手方向の他端に設けられた錘部材とを備えること
を特徴とする傾斜角センサ。
7. 請求の範囲第5および第6項のいずれかにおいて、
前記支持部材および前記錘部材の少なくとも一方は、前記6面体短冊形弾性体

と長さおよび幅の少なくとも一方が同一であることを特徴とする傾斜角センサ。

8. 請求の範囲第5ないし第7項のいずれかにおいて、

前記6面体短冊形弾性体はシリコン基板であり、前記ピエゾ抵抗は前記シリコン基板に形成された不純物拡散層であることを特徴とする傾斜角センサ。

5 9. 請求の範囲第8項において、

前記6面体短冊形弾性体はシリコン基板であり、

前記支持部材は、

凹部が形成され、前記シリコン基板と陽極接合可能な材料で構成されたガラス基板と、

10 前記凹部に埋め込まれ、前記シリコン基板との陽極接合を妨げる埋め込み部材とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

10. 請求の範囲第5ないし第9項のいずれかにおいて、

前記6面体短冊形弾性体の同一平面上に、前記6面体短冊形弾性体の撓み量を検出するよう配置されたピエゾ抵抗と、前記6面体短冊形弾性体の捻れ量を検出

15 するよう配置されたピエゾ抵抗とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

11. ウエハ表面上に2個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、

前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、

凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、

20 前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域が前記凹部の両側で支えられるように、前記ウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程とを備えることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。

12. 請求の範囲第11項において、

凸部の形成された鍮基板を、前記凸部が前記ピエゾ抵抗形成面の変位可能領域のほぼ中央に配置されるように、前記ウエハの表面に貼り合わせる工程をさらに備え、

25 前記鍮基板、前記ウエハおよび前記支持基板は、チップ状に一括して切断されることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。

13. ウエハ表面上に2個所以上のピエゾ抵抗を形成する工程と、

- 前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、
凹部の形成された支持基板を、前記piezo抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、
前記piezo抵抗形成面の変位可能領域のほぼ中央に台座を配置する工程と、
- 5 前記piezo抵抗形成面の変位可能領域が前記凹部の両側で支えられるように、前記台座が配置されたウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程と、
前記台座上に錘部材を配置する工程とを備えることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。
- 10 14. ウエハ表面上に2個以上のpiezo抵抗を形成する工程と、
前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、
凹部の形成された支持基板を、前記凹部の一方の位置が前記piezo抵抗形成領域のエッジ近傍で前記凹部の内側であり、前記凹部の他方が前記ウエハのスクライプラインにかかるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、
- 15 前記piezo抵抗形成面の変位可能領域に台座を配置する工程と、
前記piezo抵抗形成面が前記凹部の片側で支えられるように、前記台座が配置されたウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程と、
前記台座上に錘部材を配置する工程とを備えることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。
- 20 15. ウエハ表面上に2個以上のpiezo抵抗を形成する工程と、
前記ウエハの裏面全体を均一に研削する工程と、
凹部の形成された支持基板を、前記piezo抵抗の形成領域が凹部エッジ近傍で凹部内側になるように、前記ウエハの裏面に貼り合わせる工程と、
凸凹の形成された錘基板を、凸部が2チップ間隔でスクライプラインに跨るよ
- 25 うに、前記ウエハの表面に貼り合わせる工程と、
前記錘基板の凹部の一部を前記スクライプラインと平行に切り落とす工程と、
前記piezo抵抗形成面の一端が前記支持基板の凹部の片側で支えられるとともに、前記錘基板の凸部が前記piezo抵抗形成面に配置されるように、前記錘基板、前記ウエハおよび前記支持基板を一括してチップ状に切断する工程とを備えるこ

とを特徴とする傾斜角センサの製造方法。

16. 請求の範囲第11ないし第15項のいずれかにおいて、

前記研削は、研磨またはエッチング、あるいはそれらの組み合わせであることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。

5 17. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

前記撓み板の変位可能領域に配置された金属錘部材とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

18. 絶縁層上にシリコン層が形成されたSOI基板と、

10 前記シリコン層下の絶縁層に形成された隙間領域と、

前記隙間領域上の前記シリコン層に形成されたピエゾ抵抗と、

前記隙間領域上の前記シリコン層上に配置された金属錘部材とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

19. 請求の範囲第17および第18項のいずれかにおいて、

15 前記撓み板または前記シリコン層は、前記ピエゾ抵抗の形成領域にかけてくびれていることを特徴とする傾斜角センサ。

20. ウェハ表面上の各チップ領域にピエゾ抵抗を2箇所以上形成する工程と、

前記ウェハ表面上の各チップ領域にパッドを形成する工程と、

前記ピエゾ抵抗およびパッドが形成されたウェハの裏面全体を均一に研削する

20 工程と、

凹部の形成された支持基板を、前記ピエゾ抵抗の形成領域が前記凹部エッジ近傍に位置するとともに、前記パッドが前記凹部内側に位置するように、前記ウェハの裏面に貼り合わせる工程と、

前記支持基板に貼り合わされた前記ウェハの各パッド上に金属錘部材を形成す

25 る工程と、

前記ピエゾ抵抗の形成領域がくびれるように、前記ウェハに開口部を形成する工程と、

前記開口部が形成されたウェハをチップ状に切断する工程とを備えることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。

21. シリコン酸化膜を介してシリコンウェハ上に形成されたシリコン層上の各チップ領域にピエゾ抵抗を2箇所以上形成する工程と、
前記シリコン層上の各チップ領域にパッドを形成する工程と、
前記シリコン層上に形成された各パッド上に金属錘部材を形成する工程と、
- 5 前記ピエゾ抵抗の形成領域がくびれるように、前記シリコン層に開口部を形成する工程と、
前記シリコン層に形成された開口部を介して前記シリコン酸化膜の一部をエッチングすることにより、前記ピエゾ抵抗の形成領域下および前記金属錘部材の形成領域下の前記シリコン酸化膜を除去する工程と、
- 10 前記シリコン酸化膜が除去されたウェハをチップ状に切断する工程とを備えることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。
22. 請求の範囲第20および第21項のいずれかにおいて、
前記金属錘部材の形成は、電解メッキであることを特徴とする傾斜角センサの製造方法。
- 15 23. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、
前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、
前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサであって、
前記ピエゾ抵抗は、
- 20 前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群と、
前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線を軸として線対称の位置に配置されかつ前記第1ピエゾ抵抗群とは異なる位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有し、
- 25 前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第2ピエゾ抵抗群により第2フルブリッジ回路を構成し、
さらに、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出手段と、
前記第2フルブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出手段で算出した傾

斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出手段とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

24. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

- 5 前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサであつて、

前記ピエゾ抵抗は、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群と、

- 10 前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線上に配置された複数のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有し、

前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第2ピエゾ抵抗群により第2ハーフブリッジ回路を構成し、

- 15 さらに、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出手段と、

前記第2ハーフブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出手段で算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出手段とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

25. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

- 20 前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備える傾斜角センサであつて、

前記ピエゾ抵抗は、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸とし

- 25 て線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群を有し、

前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成するとともに、前記第1ピエゾ抵抗群により前記第1フルブリッジ回路とは接続が異なる第2フルブリッジ回路を構成し、

さらに、前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を

回転軸とする傾斜角を算出する第 1 傾斜角算出手段と、

前記第 2 フルブリッジ回路の出力および前記第 1 傾斜角算出手段で算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第 2 傾斜角算出手段とを備えることを特徴とする傾斜角センサ。

5 26. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備え、

前記ピエゾ抵抗は、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸とし

10 て線対称の位置に配置された 2 対のピエゾ抵抗を含む第 1 ピエゾ抵抗群と、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線を軸として線対称の位置に配置されかつ前記第 1 ピエゾ抵抗群とは異なる位置に配置された 2 対のピエゾ抵抗を含む第 2 ピエゾ抵抗群とを有する傾斜角センサを用いて傾斜角を測定する方法であって、

15 前記第 1 ピエゾ抵抗群により第 1 フルブリッジ回路を構成し出力する第 1 ブリッジ回路出力ステップと、

前記第 2 ピエゾ抵抗群により第 2 フルブリッジ回路を構成し出力する第 2 ブリッジ回路出力ステップと、

20 前記第 1 フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第 1 傾斜角算出ステップと、

前記第 2 フルブリッジ回路の出力および前記第 1 傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第 2 傾斜角算出ステップとを含むことを特徴とする傾斜角測定方法。

27. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

25 前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備え、

前記ピエゾ抵抗は、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された 2 対のピエゾ抵抗を含む第 1 ピエゾ抵抗群と、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記中心線上に配置された複数のピエゾ抵抗を含む第2ピエゾ抵抗群とを有する傾斜角センサを用いて傾斜角を測定する方法であって、

- 5 前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成し出力する第1ブリッジ回路出力ステップと、

前記第2ピエゾ抵抗群により第2ハーフブリッジ回路を構成し出力する第2ブリッジ回路出力ステップと、

前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出ステップと、

- 10 前記第2ハーフブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出ステップとを含むことを特徴とする傾斜角測定方法。

28. 表面にピエゾ抵抗が形成された撓み板と、

前記撓み板の一端で前記撓み板を支持する支持部材と、

- 15 前記撓み板の変位可能領域に配置された錘部材とを備え、

前記ピエゾ抵抗は、

前記撓み板の変位可能領域のうち前記撓み板の幅の midpoint を通る中心線を軸として線対称の位置に配置された2対のピエゾ抵抗を含む第1ピエゾ抵抗群を有する傾斜角センサを用いて傾斜角を測定する方法であって、

- 20 前記第1ピエゾ抵抗群により第1フルブリッジ回路を構成し出力する第1ブリッジ回路出力ステップと、

前記第1ピエゾ抵抗群により前記第1フルブリッジ回路とは接続が異なる第2フルブリッジ回路を構成し出力する第2ブリッジ回路出力ステップと、

- 25 前記第1フルブリッジ回路の出力に基づいて前記撓み板の長手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第1傾斜角算出ステップと、

前記第2フルブリッジ回路の出力および前記第1傾斜角算出ステップで算出した傾斜角に基づいて前記撓み板の短手方向を回転軸とする傾斜角を算出する第2傾斜角算出ステップとを含むことを特徴とする傾斜角測定方法。

29. 請求の範囲第1項ないし第10項、請求の範囲第17項ないし第19項、

または請求項第 2 3 項ないし第 2 5 項記載の傾斜角センサと、

互いに直交する方向の地磁気成分を検出する 2 軸以上の地磁気検出手段と、

前記傾斜角センサで取得した傾斜角データおよび前記地磁気検出手段で取得した地磁気データに基づいて方位角を算出する方位角算出手段とを有し方位角を検

5 出することを特徴とする方位角センサ。

30. 請求の範囲第 2 9 項記載の方位角センサを内蔵していることを特徴とする携帯電話。

図 1

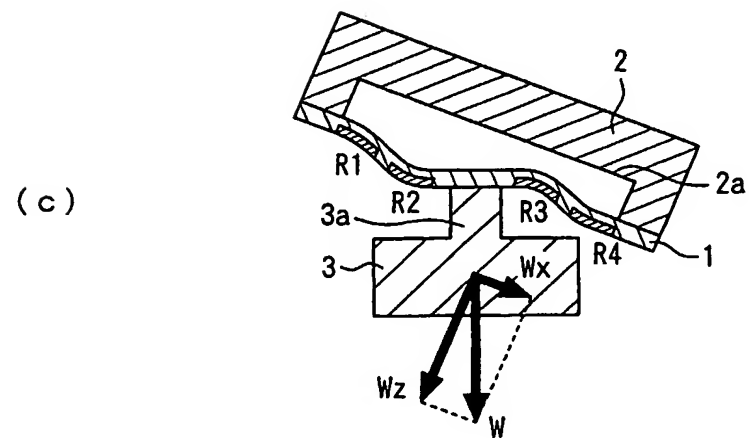
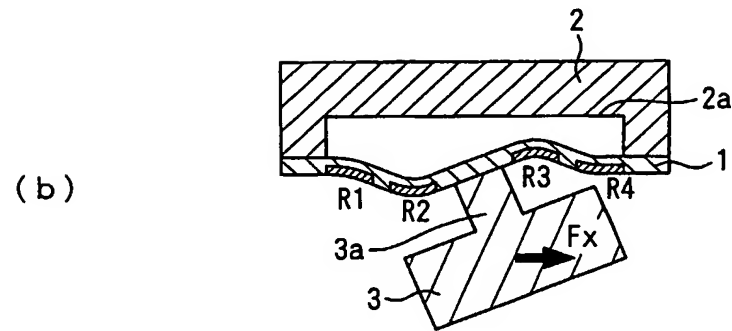
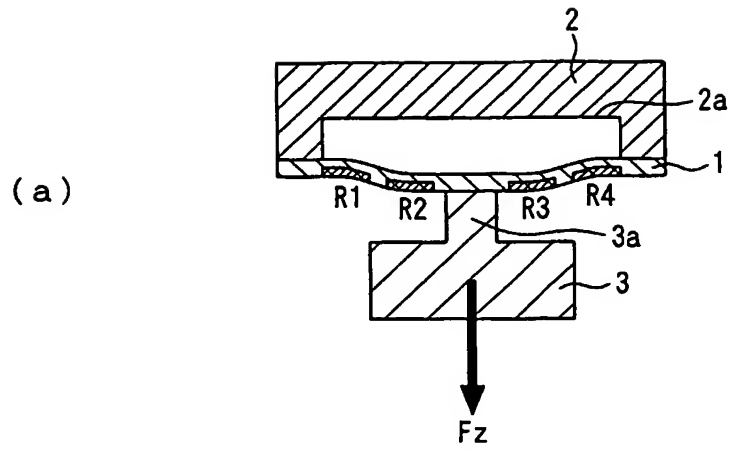
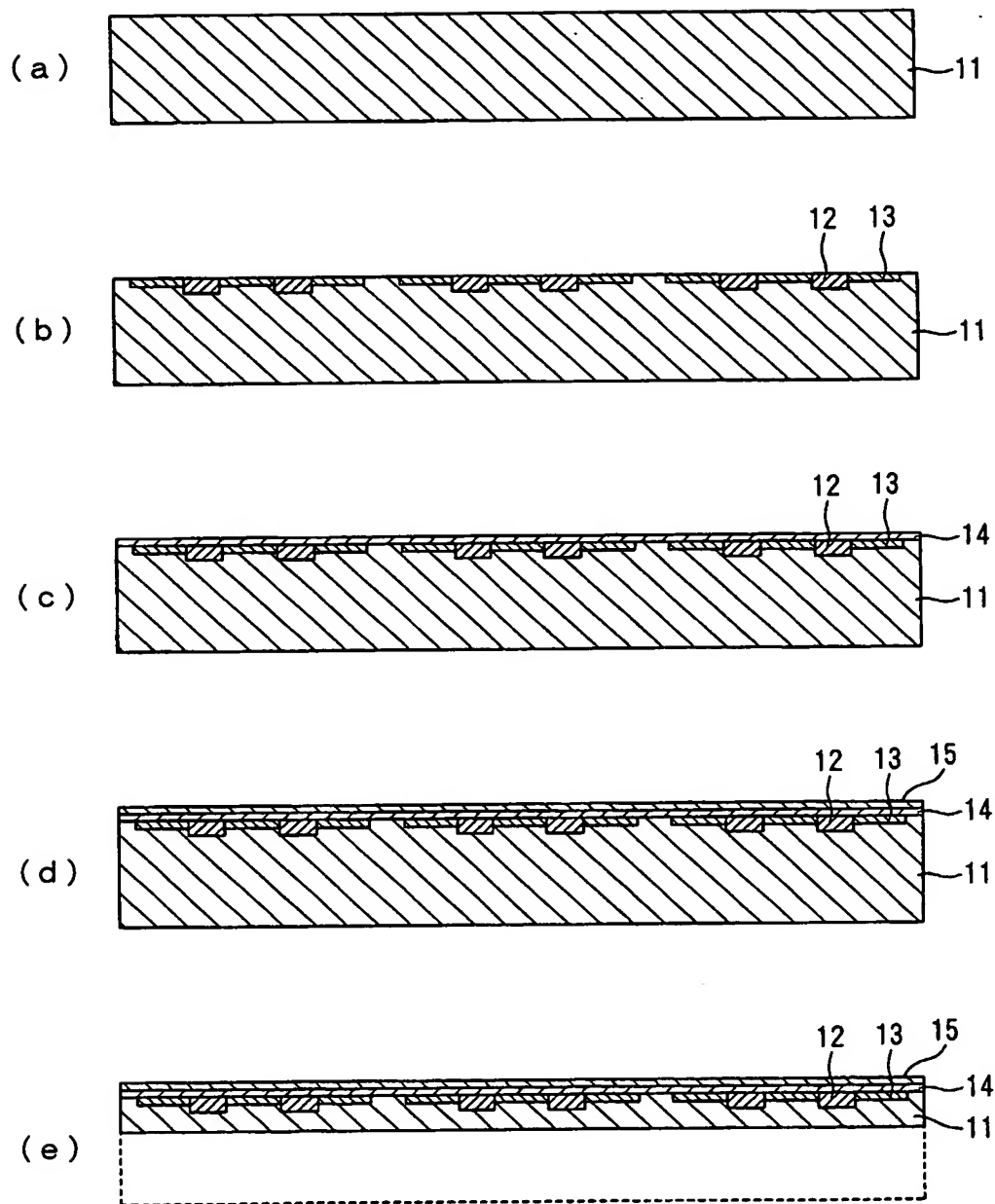


図 2



3

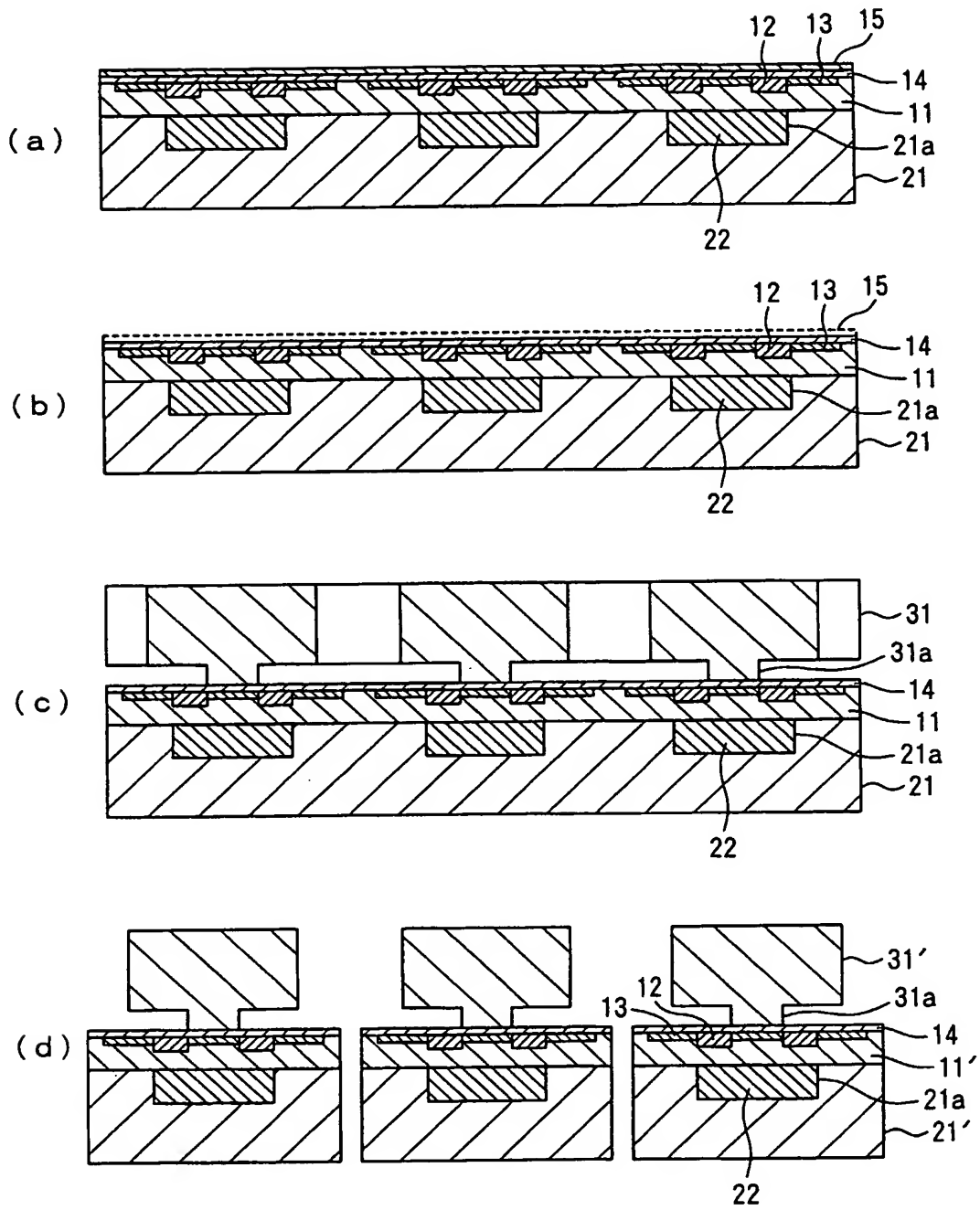


図 4

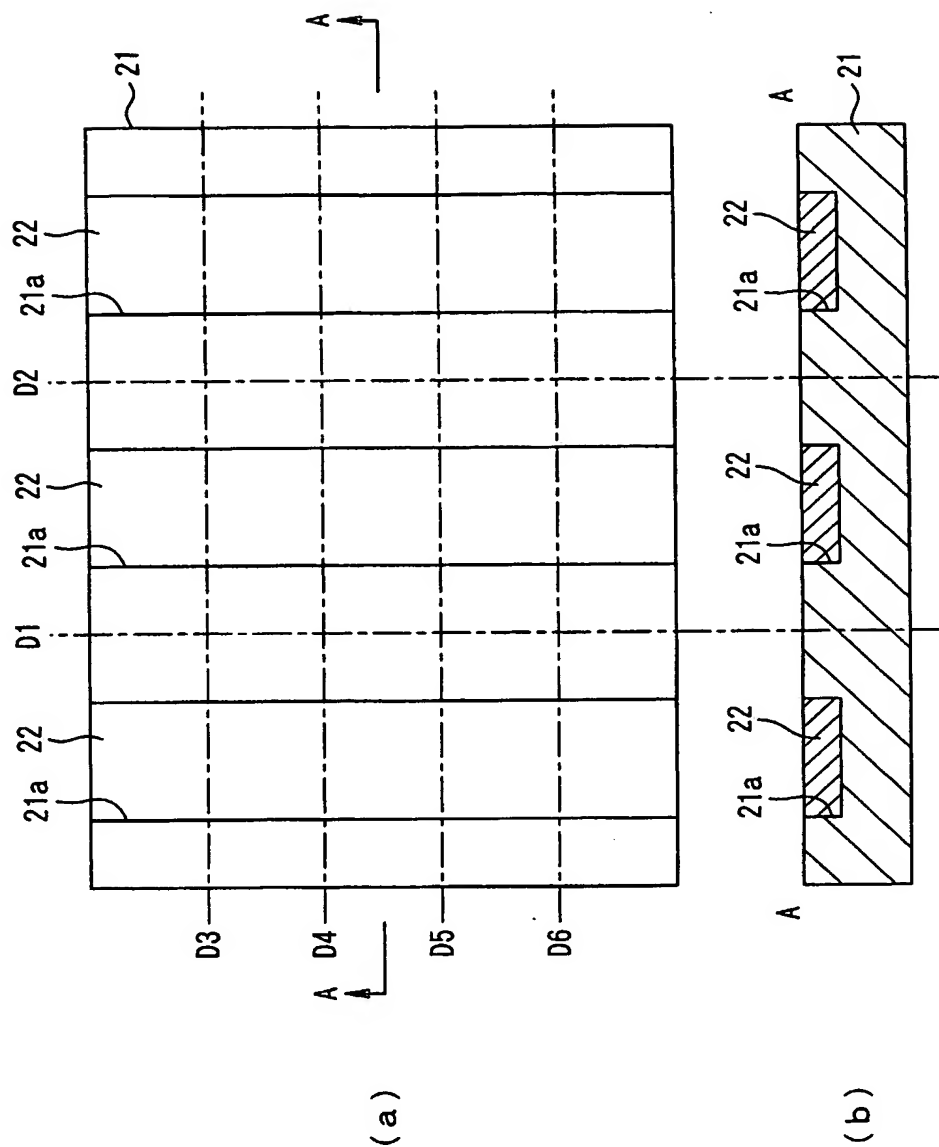


図 5

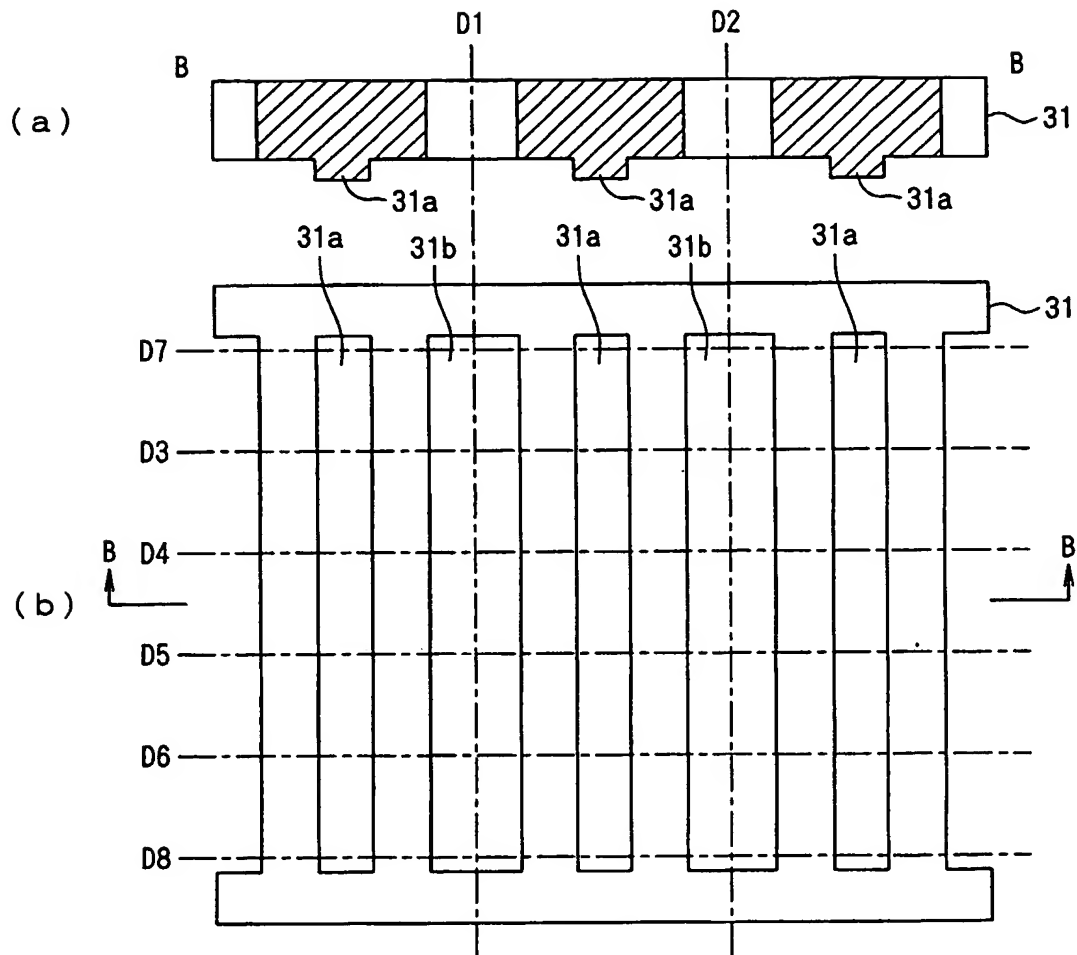


図 6

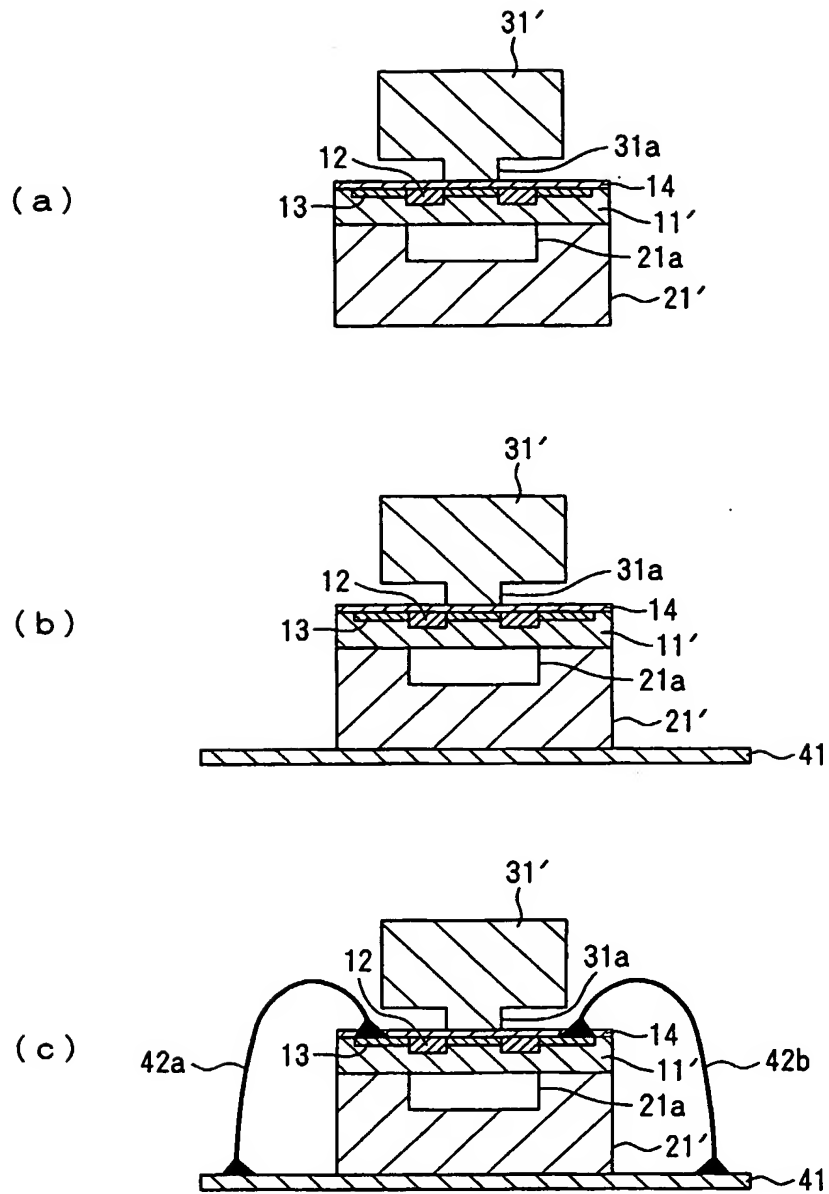


図 7

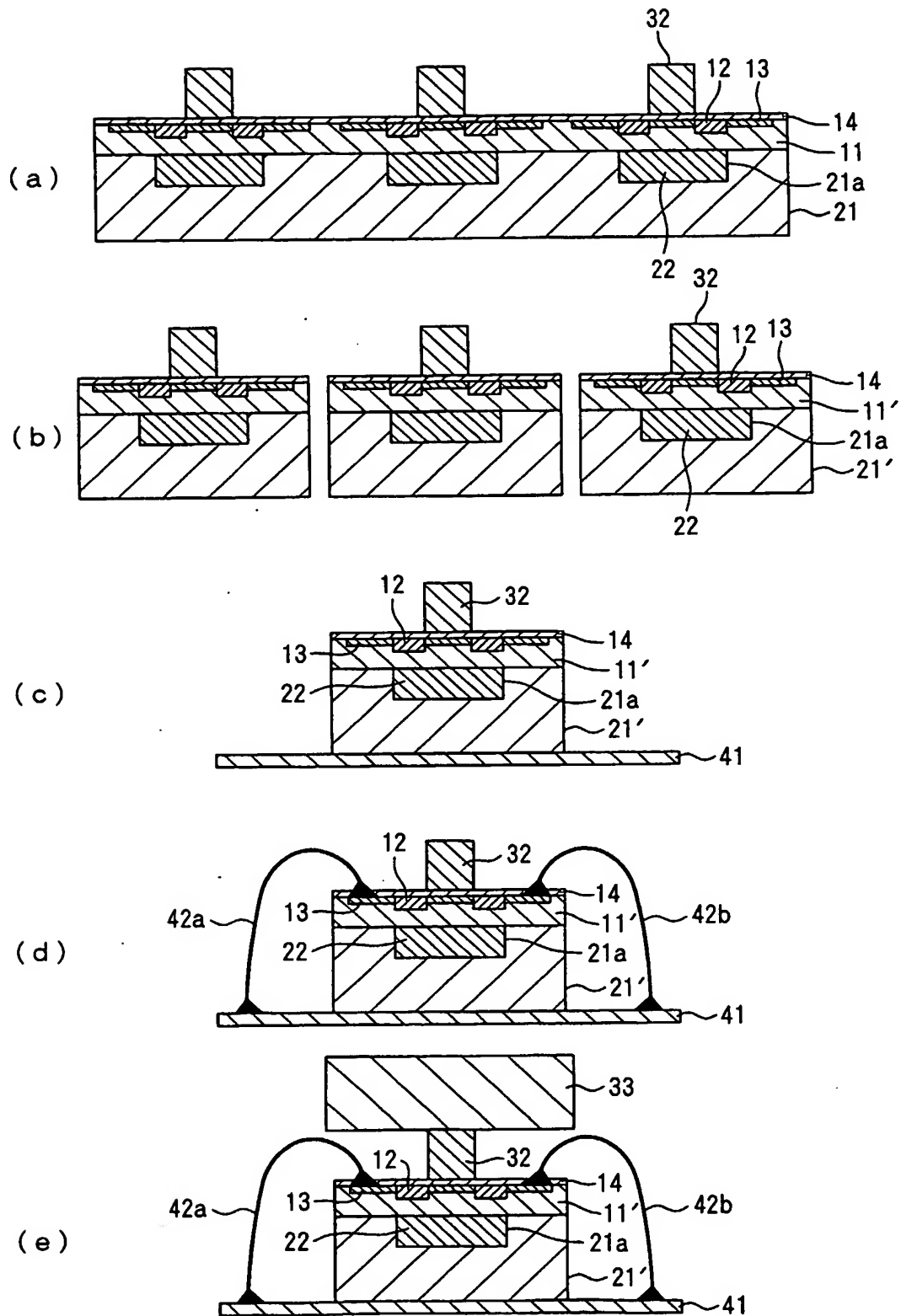


図 8

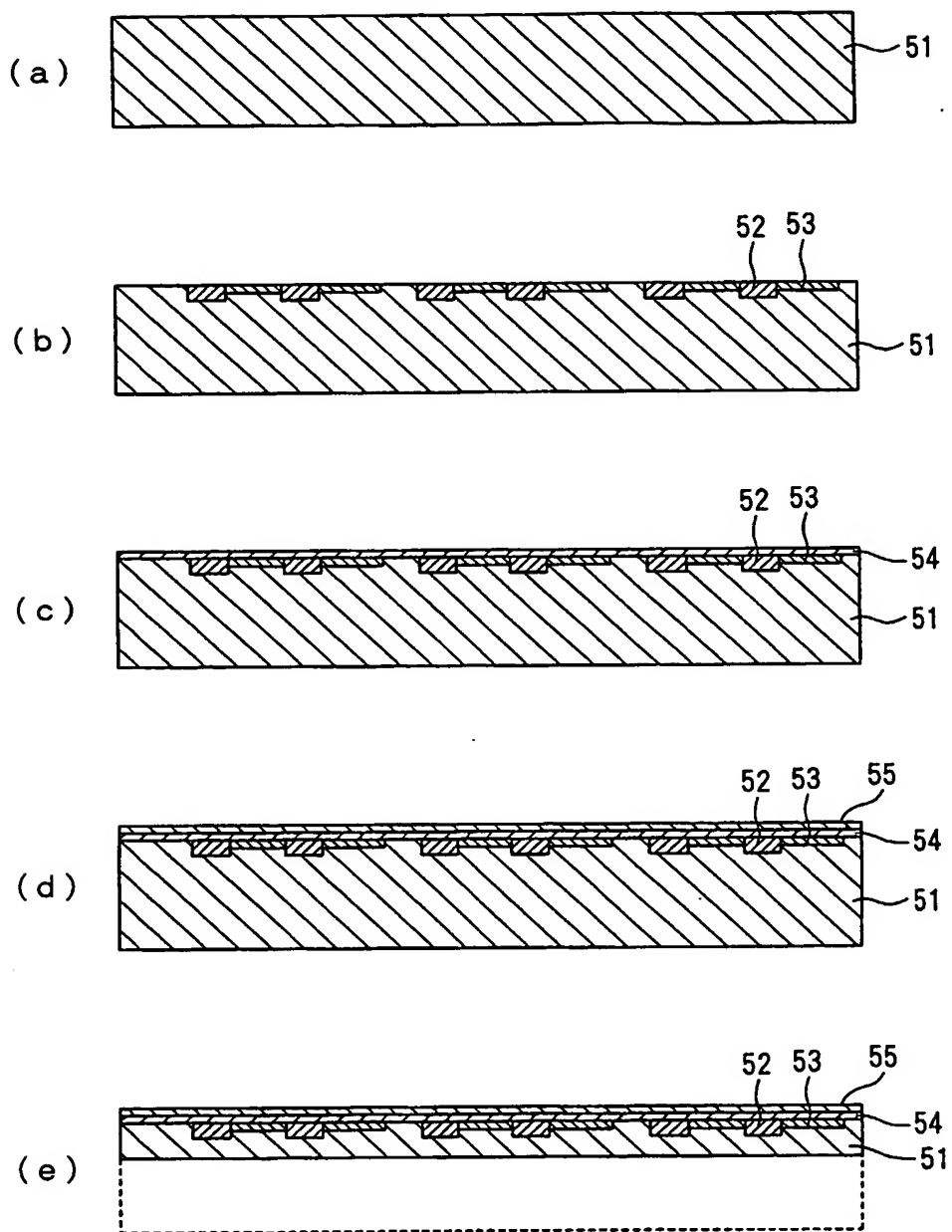


図 9

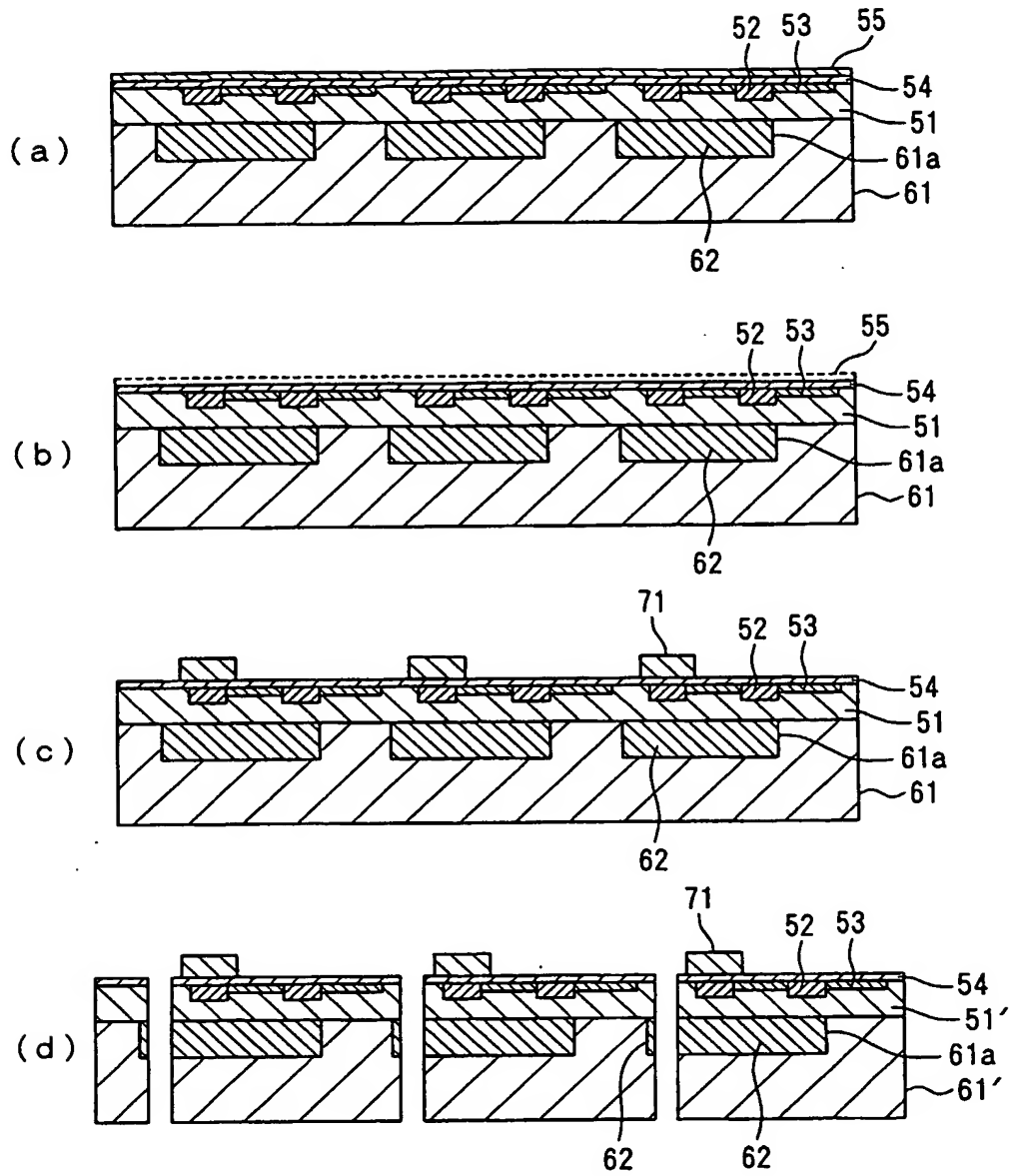


図 10

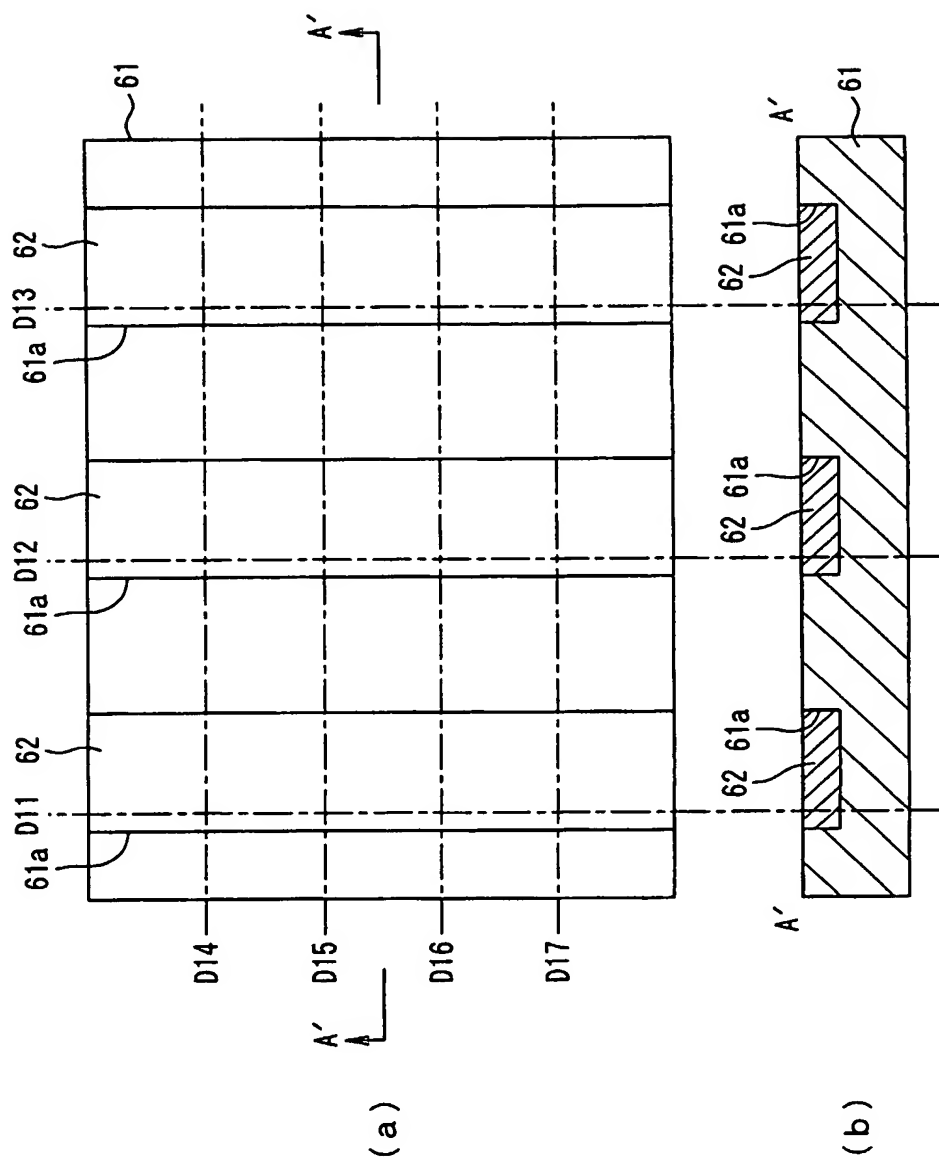


図 1 1

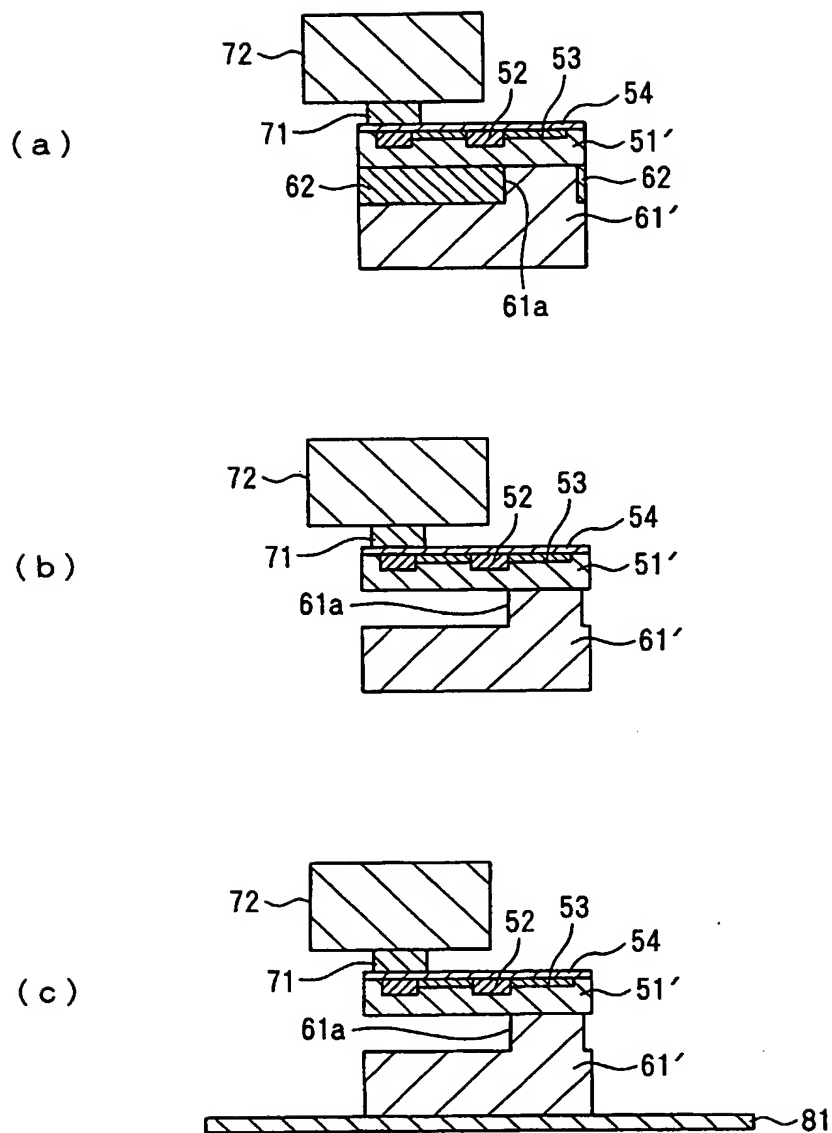


図 1 2

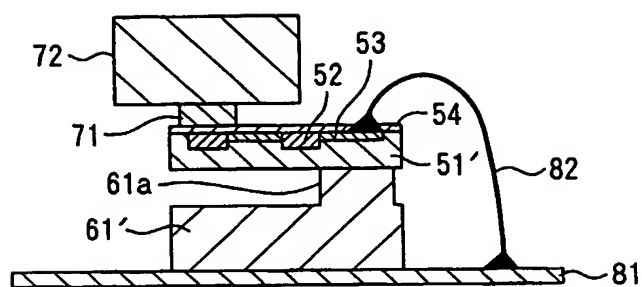
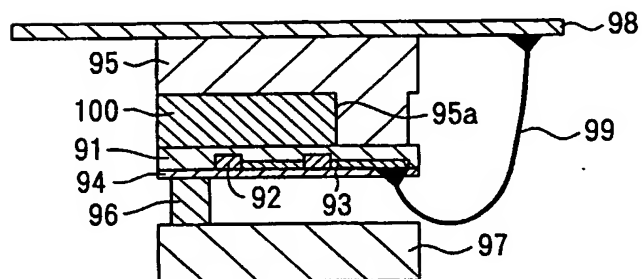


図 1 3

(a)



(b)

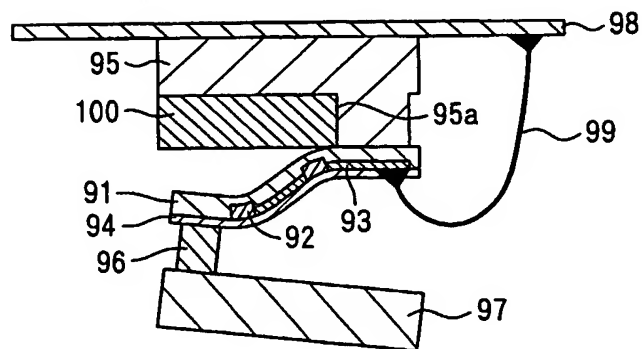


図 14

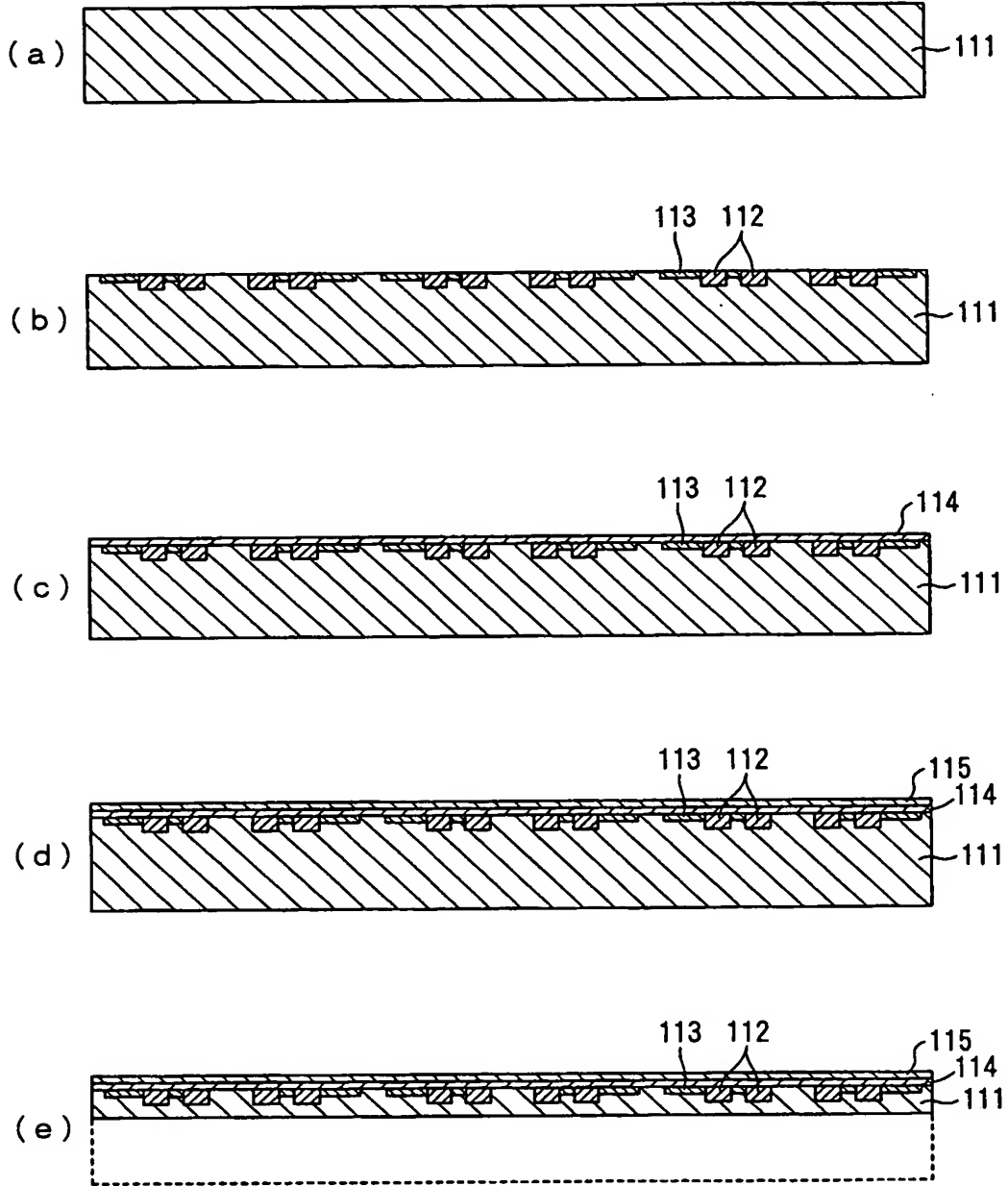


図 15

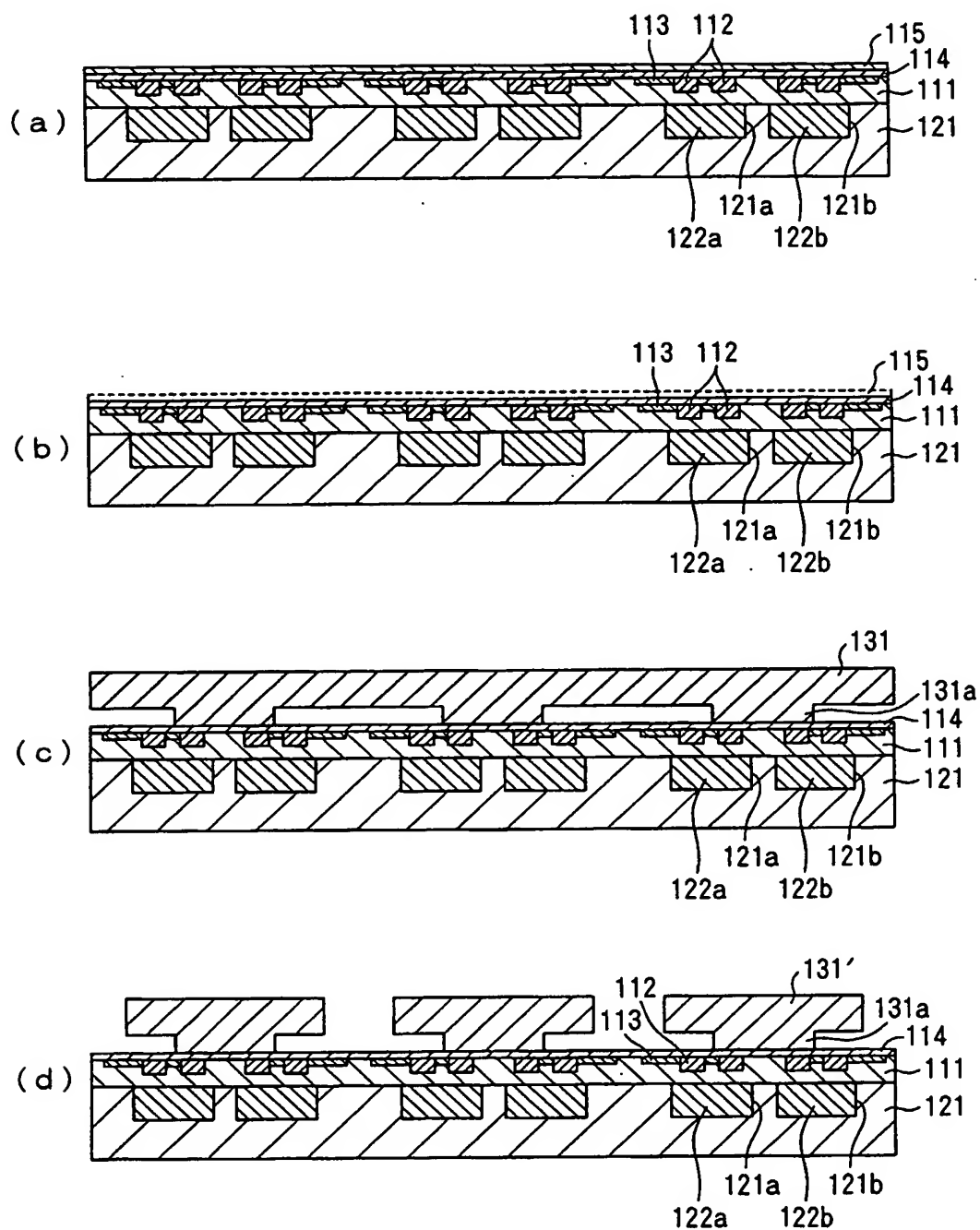


図 17

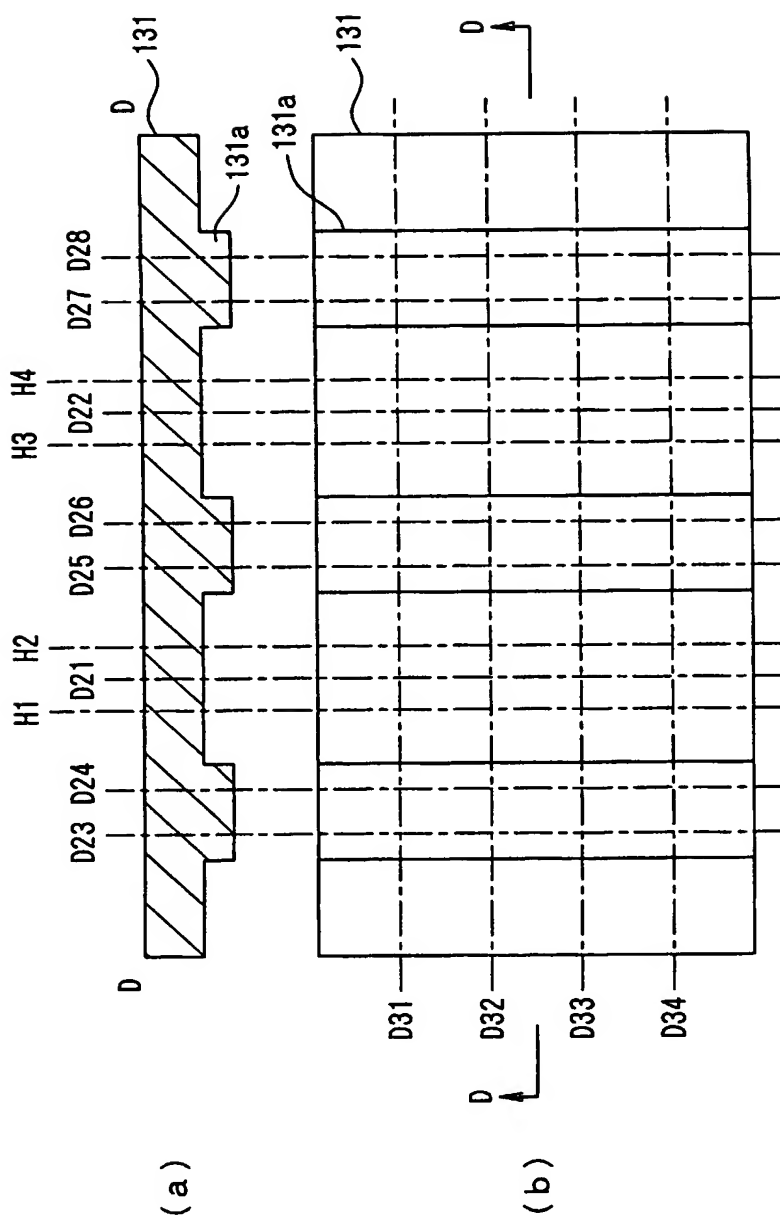


図 18

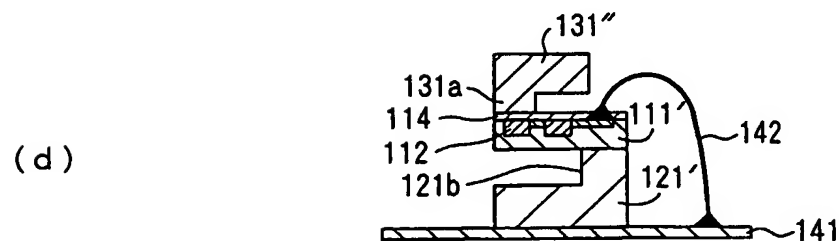
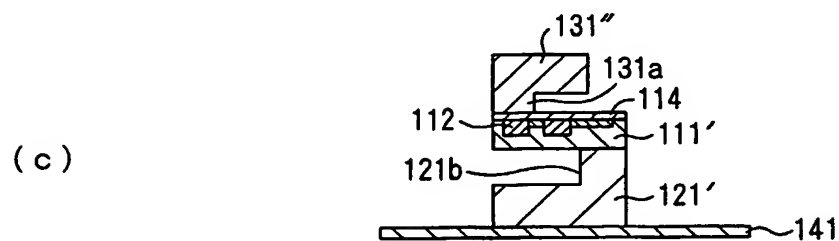
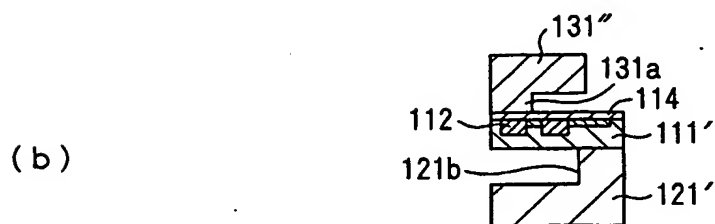
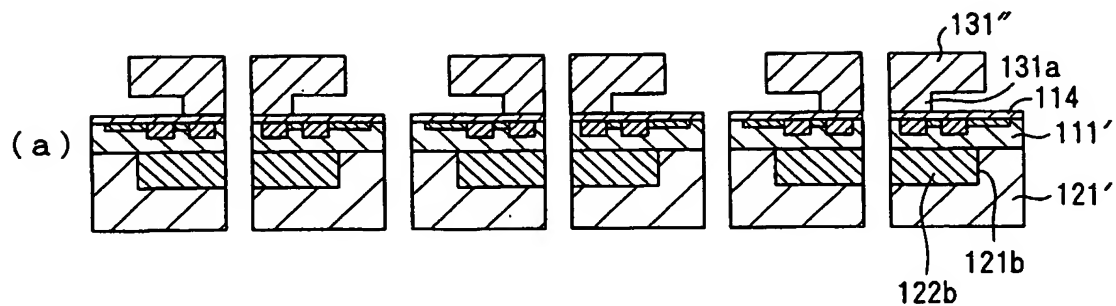


図 19

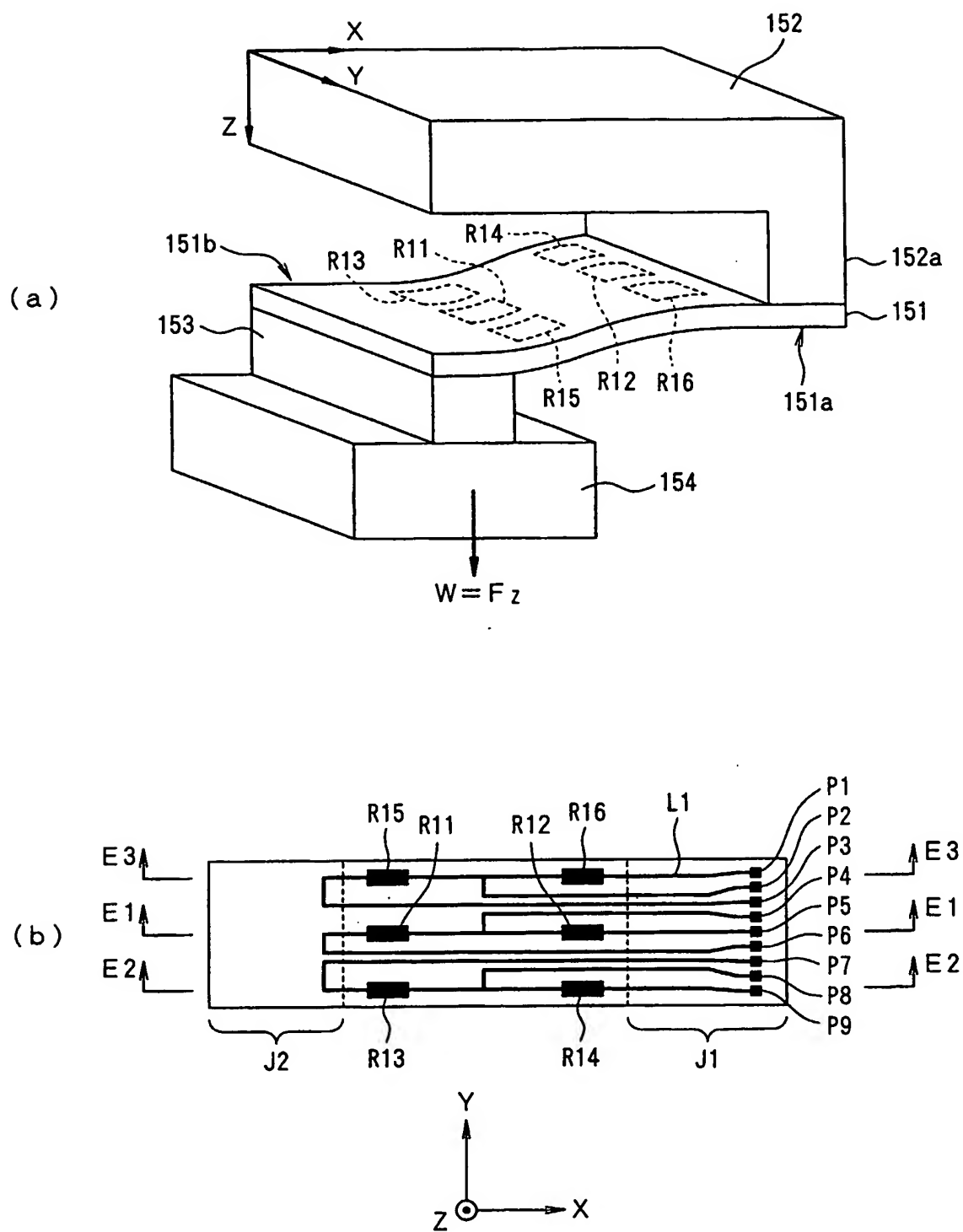


図 20

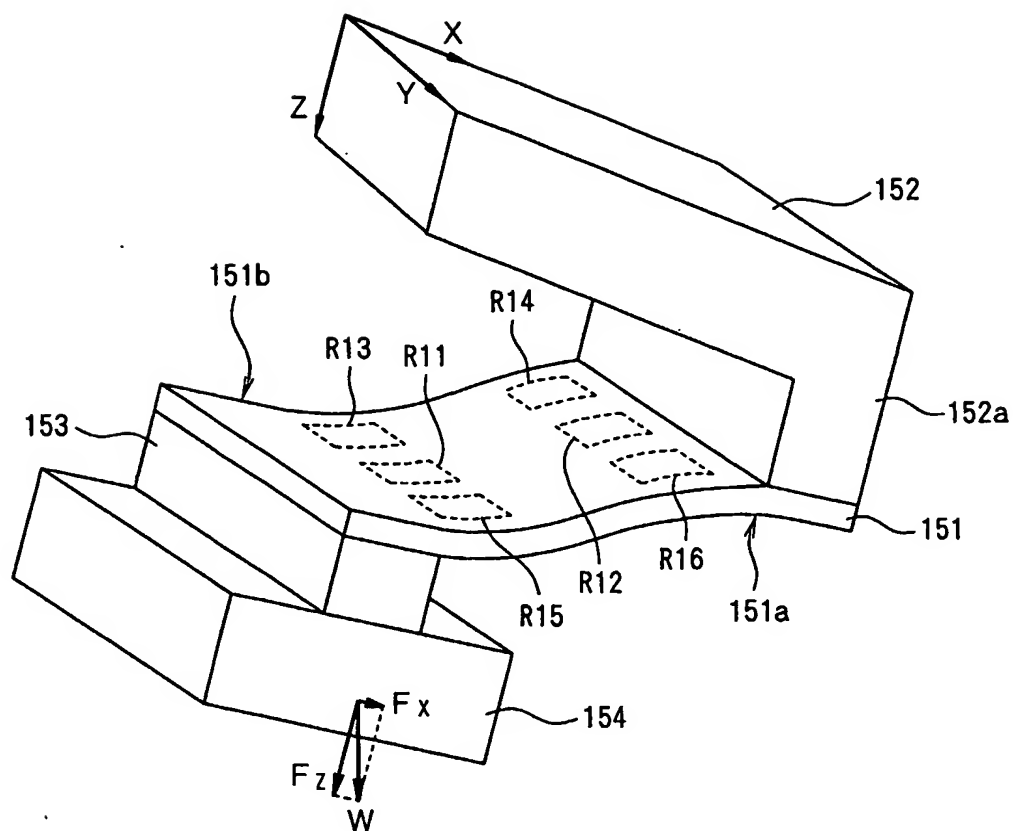


図 21

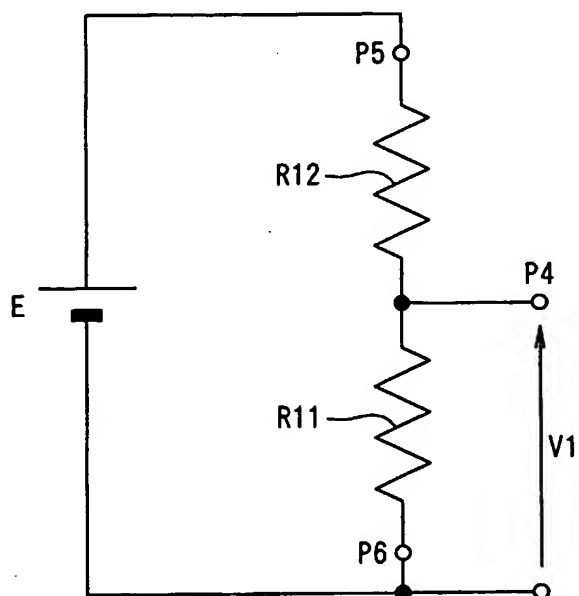


図 2 2

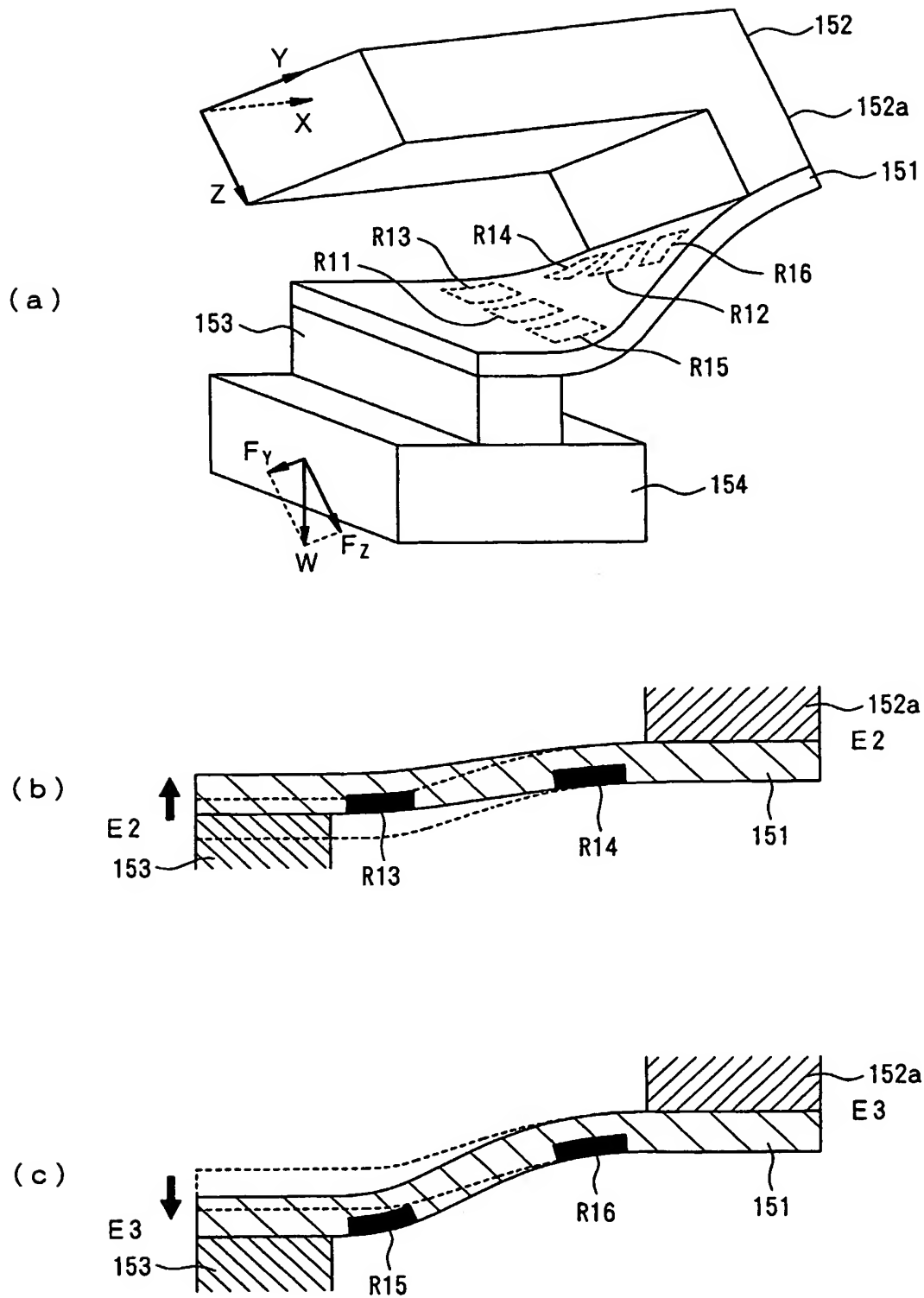


図 23

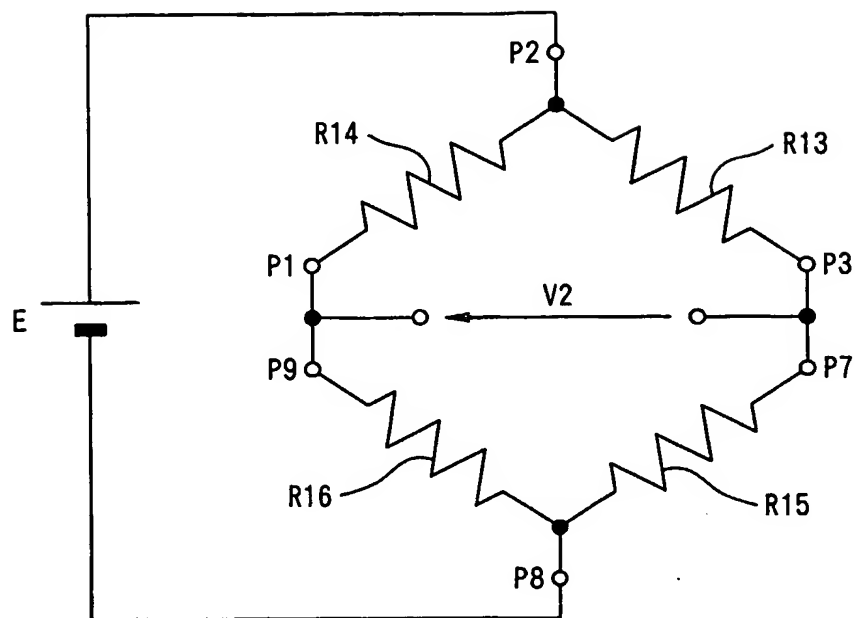


図 2 4

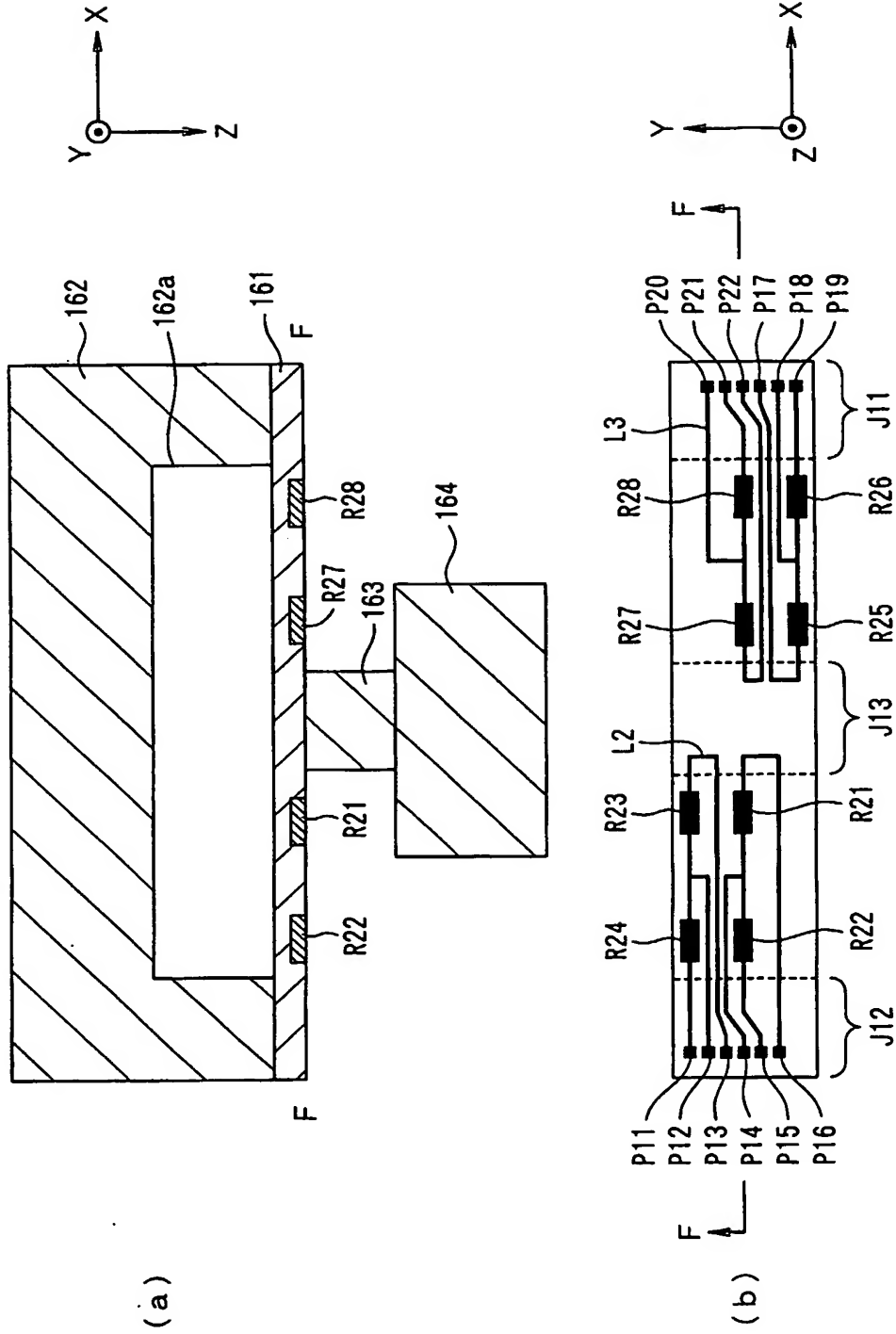


図 2 5

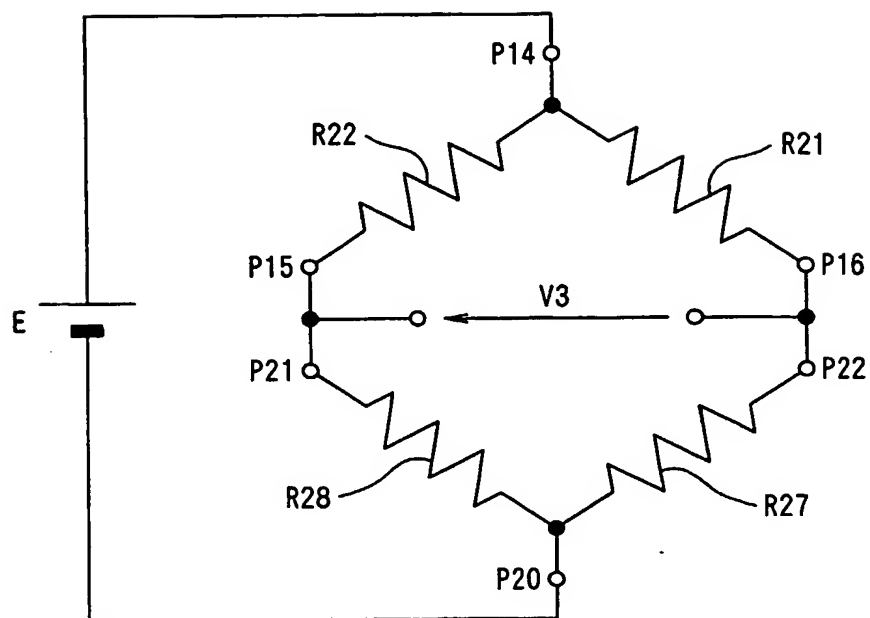


図 2 6

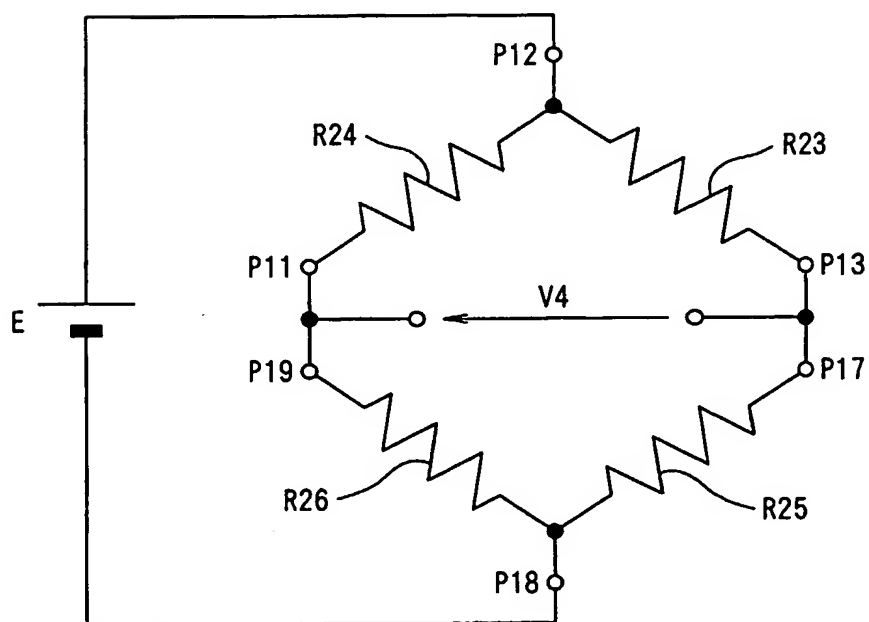


図 27

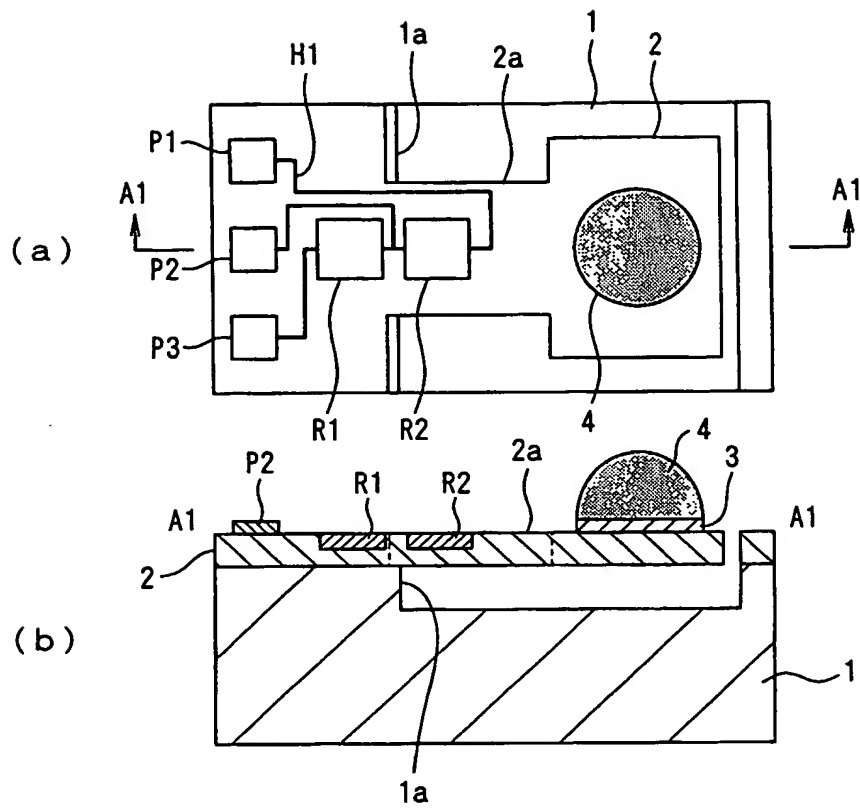


図 28

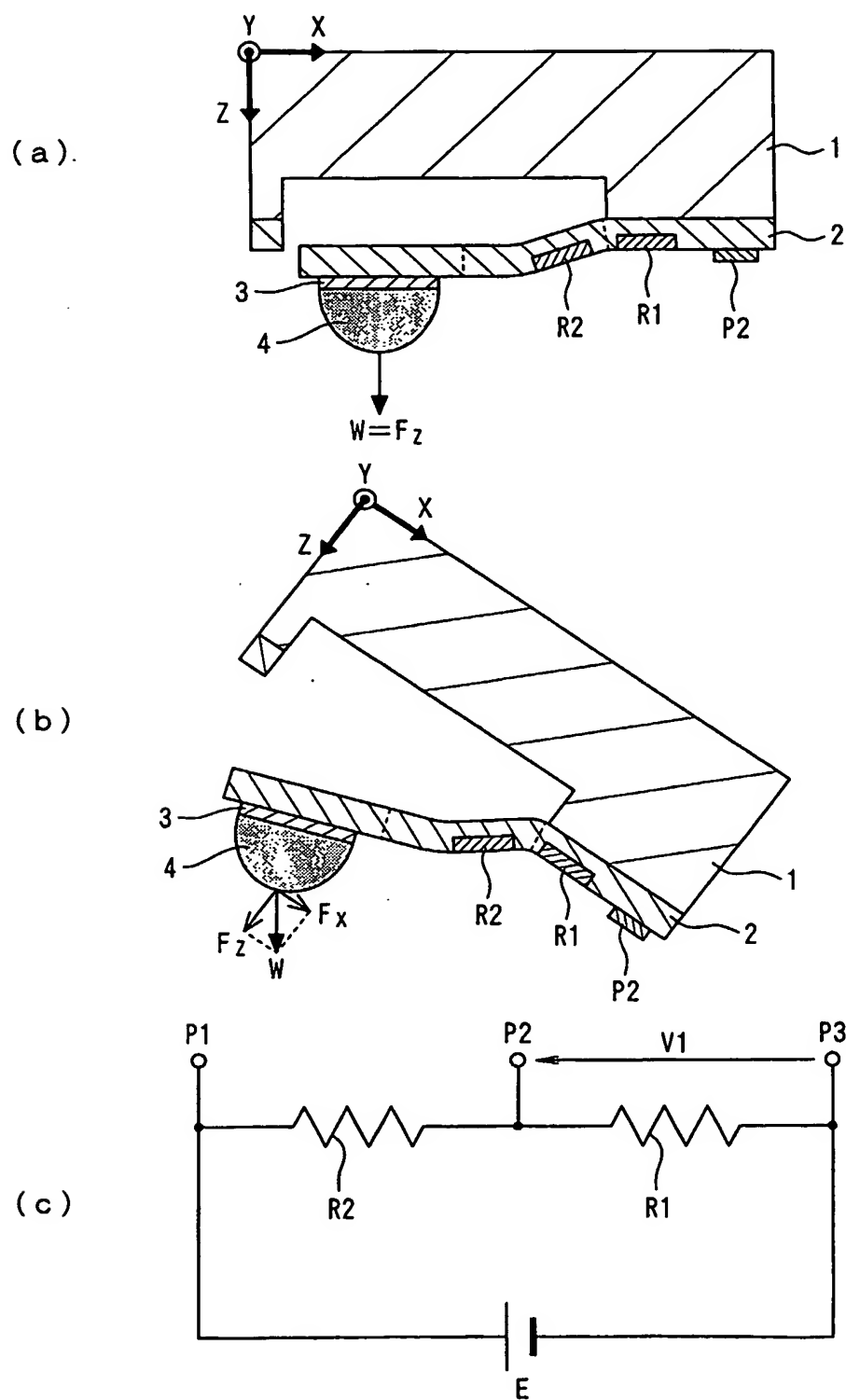


図 29

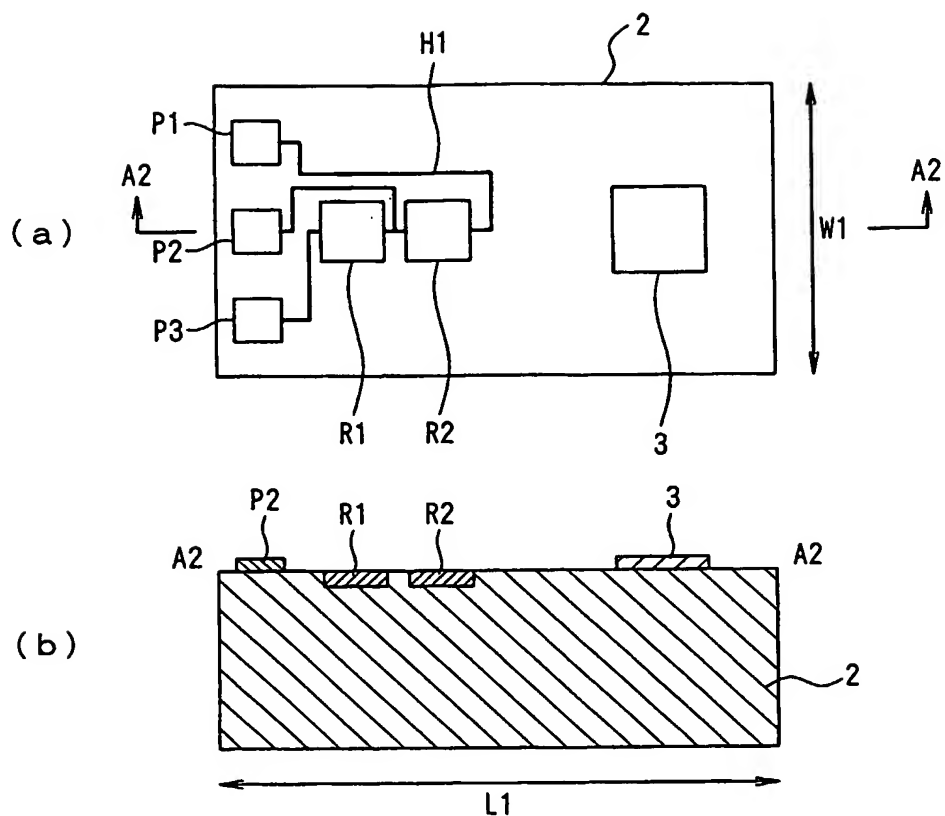


図 30

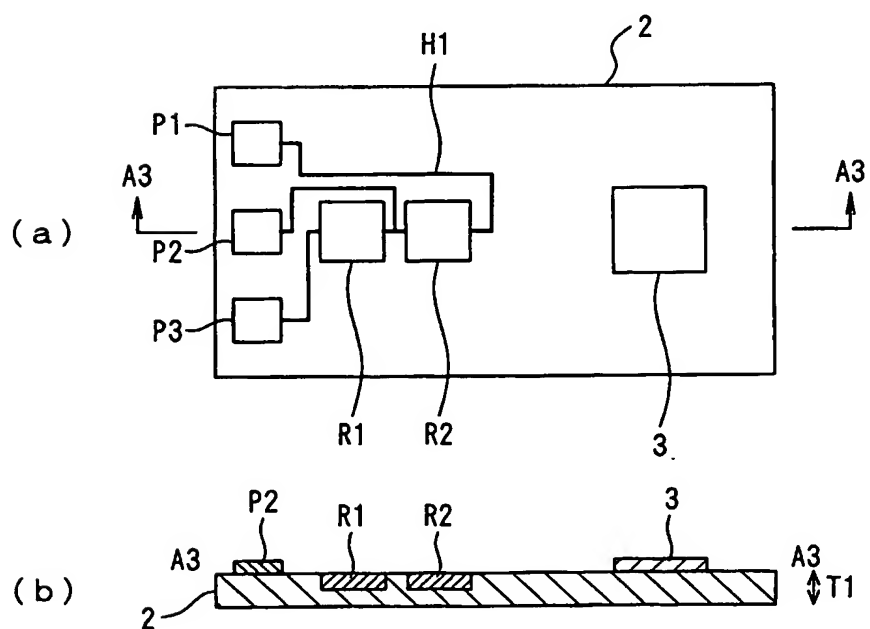


図 3 1

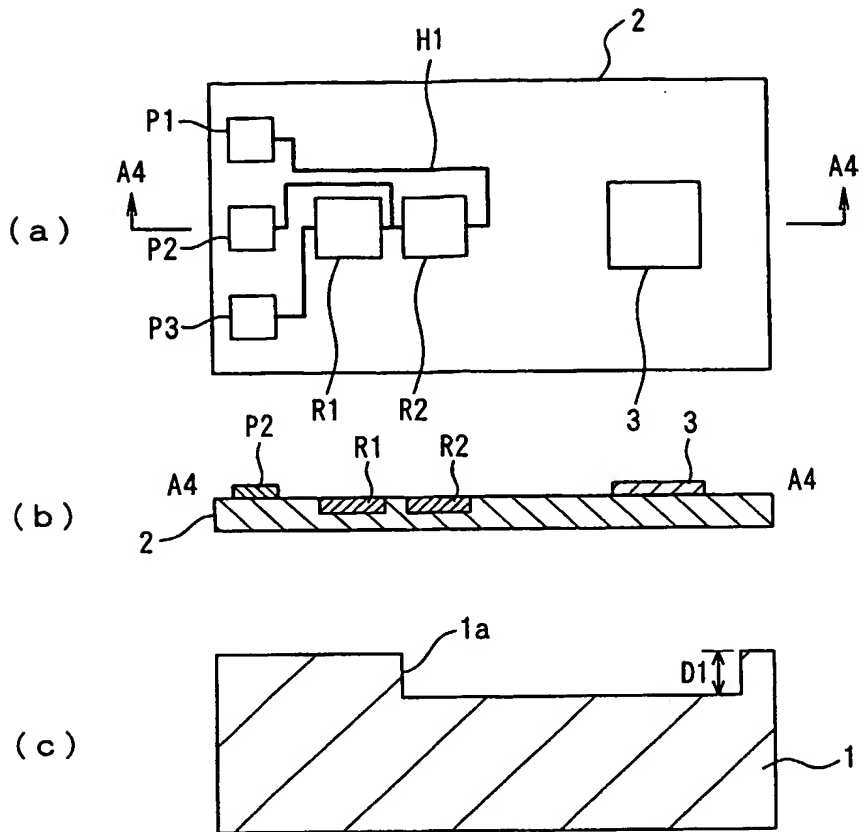


図 3 2

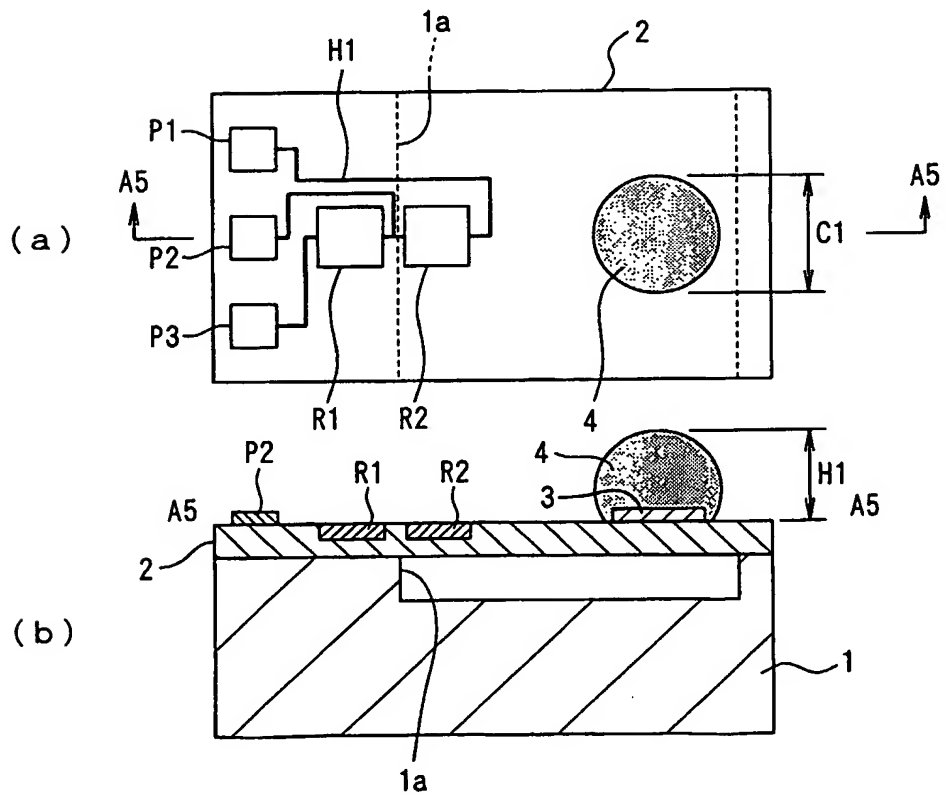


図 3 3

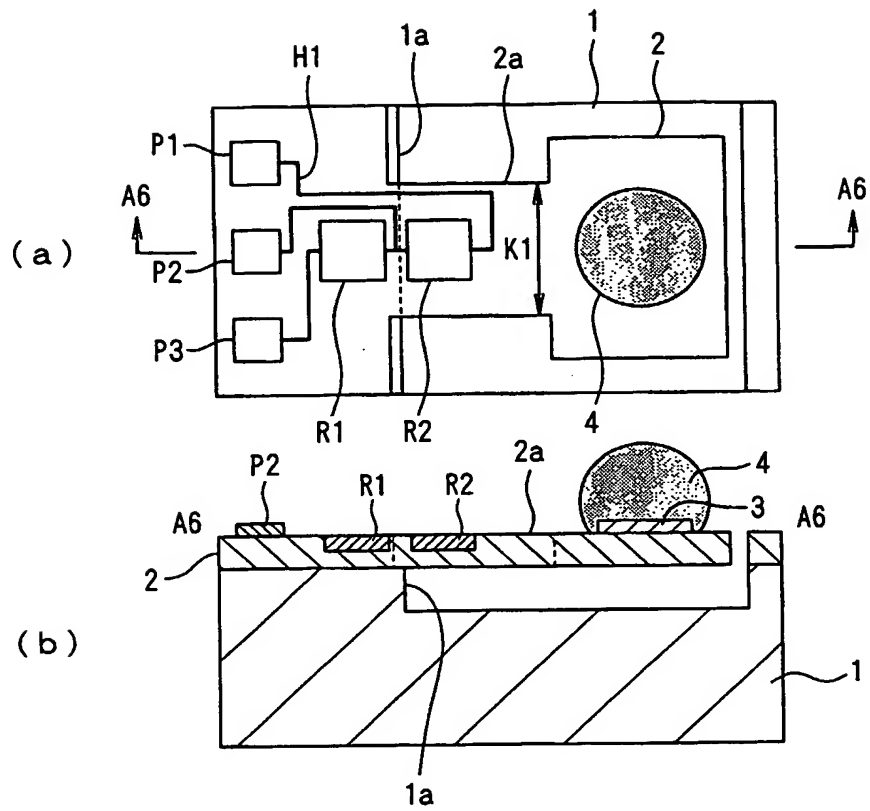


図 3 4

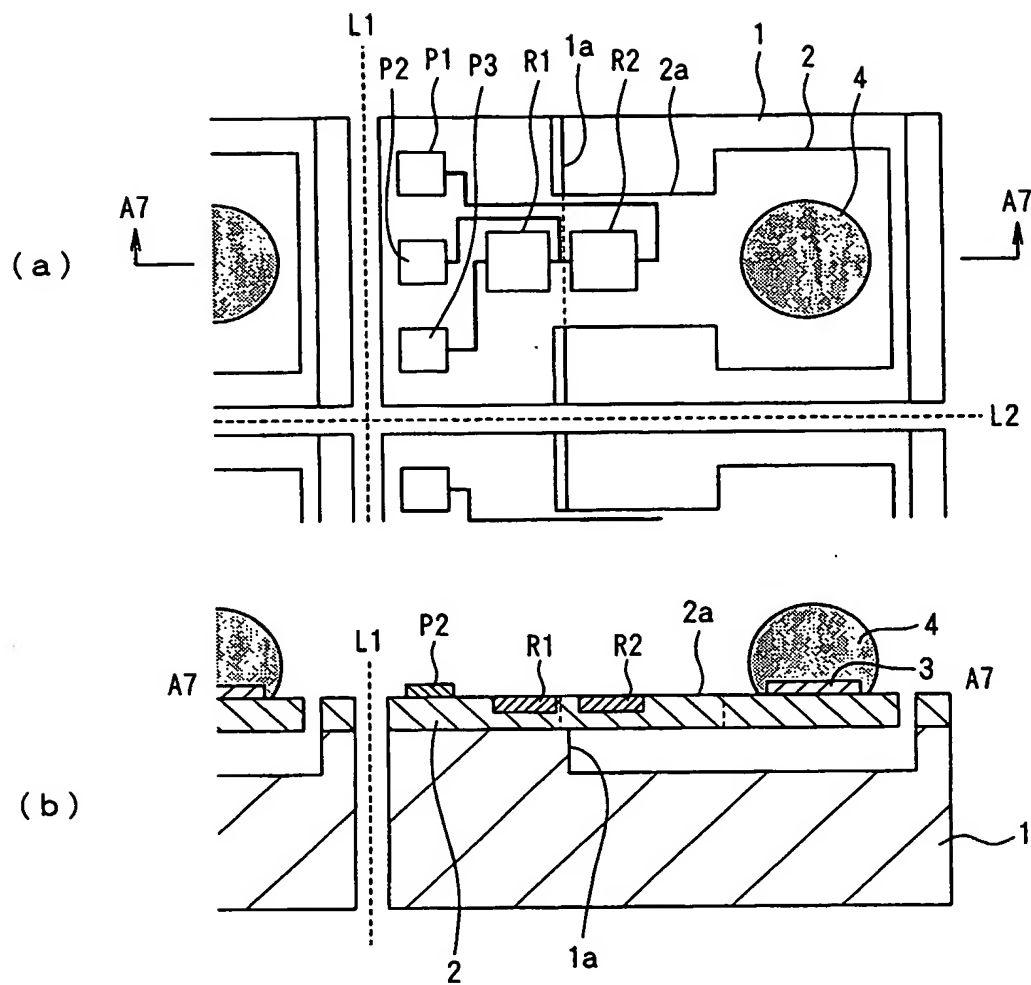


図 3 5

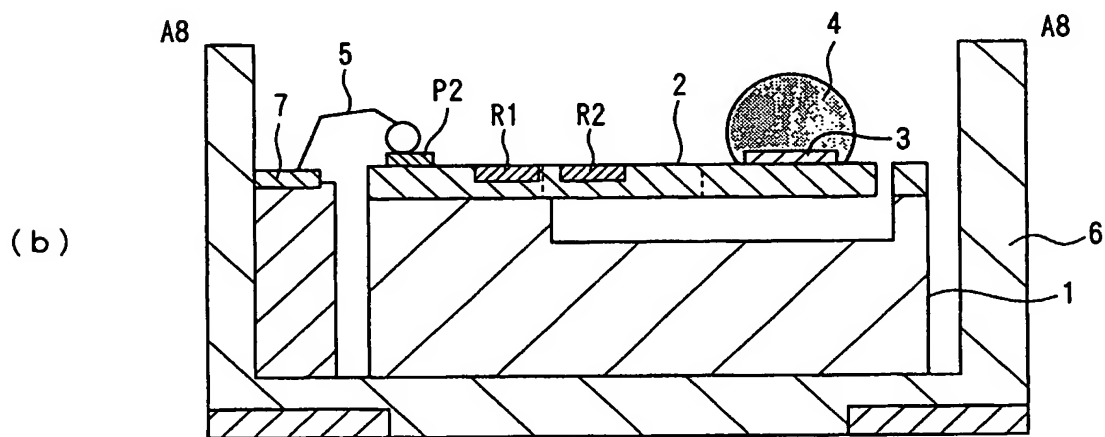
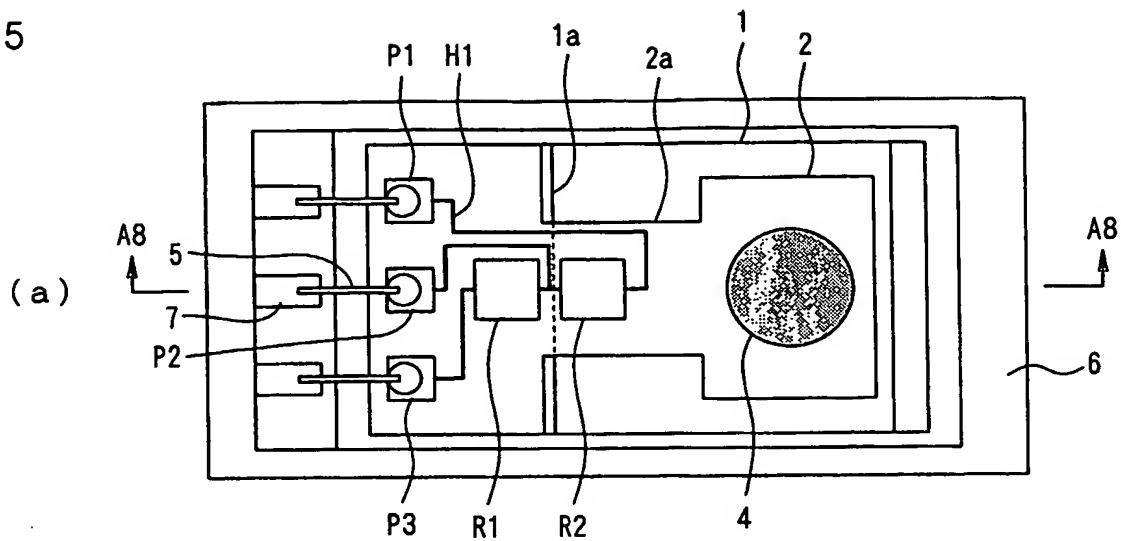


図 3 6

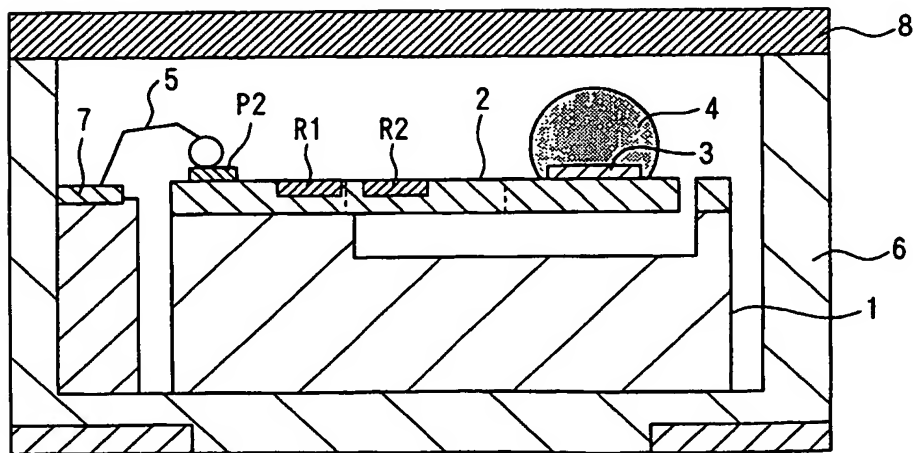


図 37

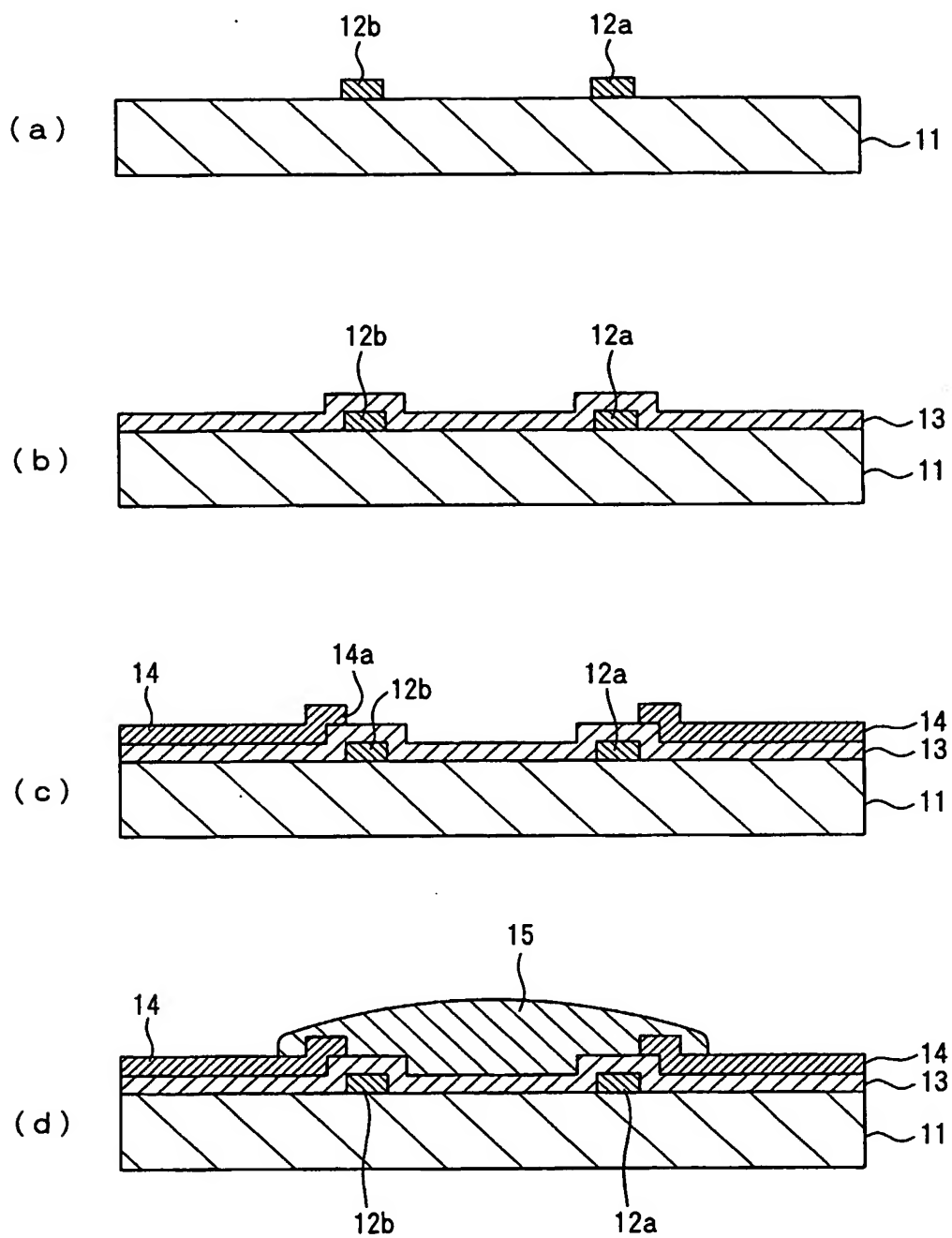


図 38

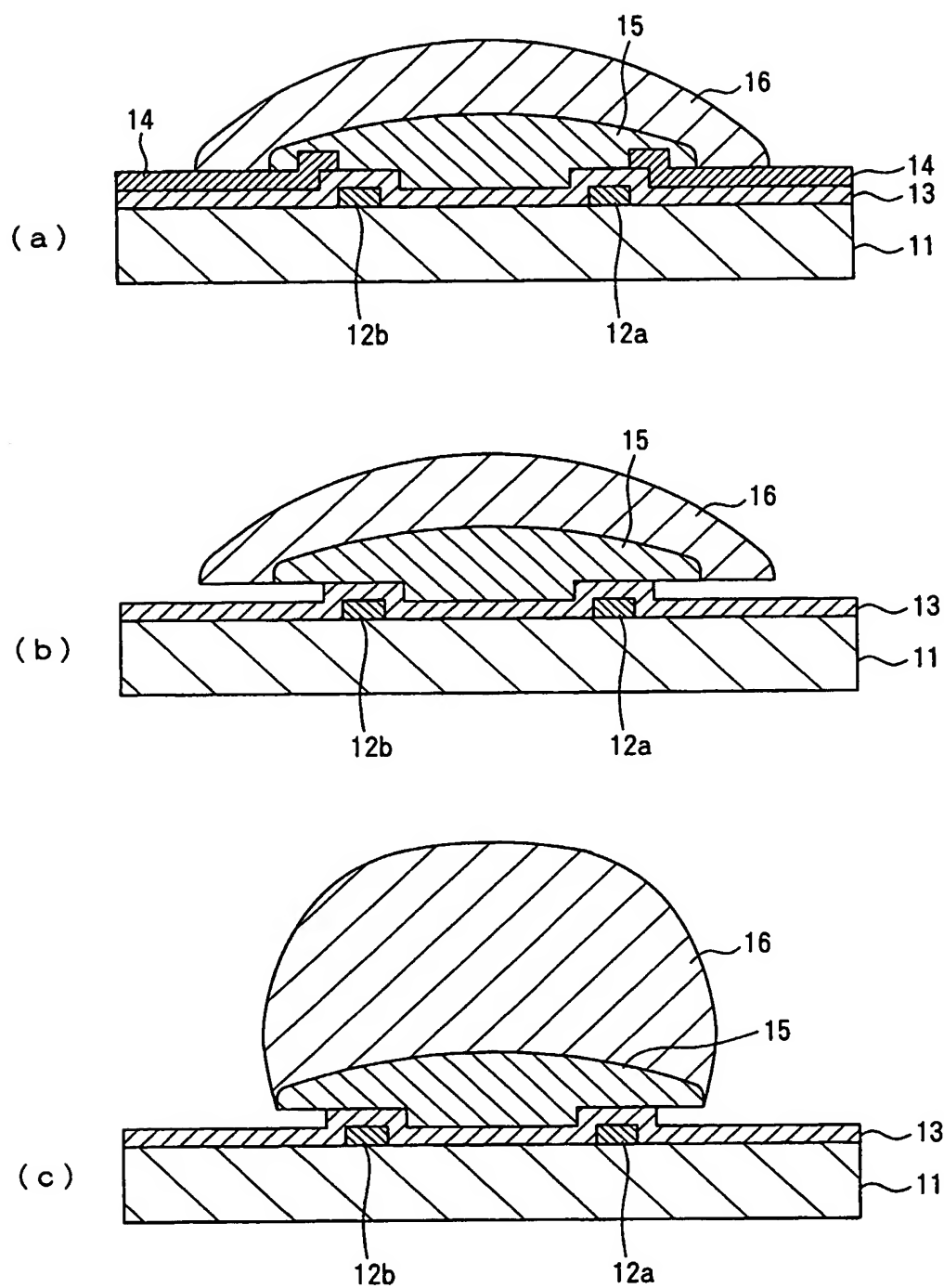


図 39

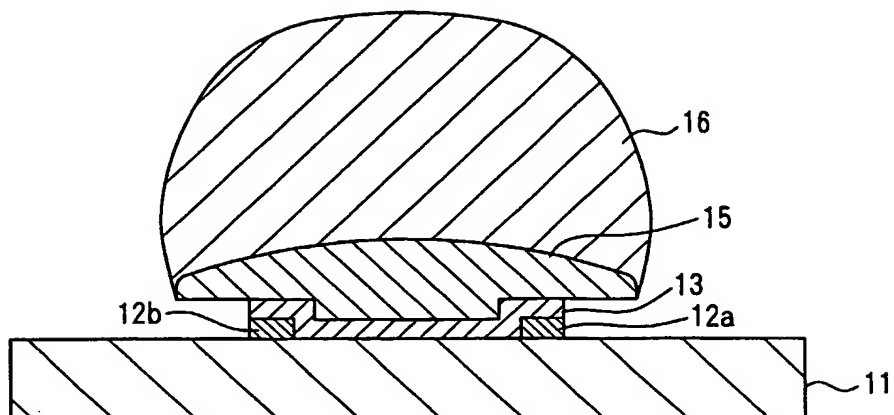


図 40

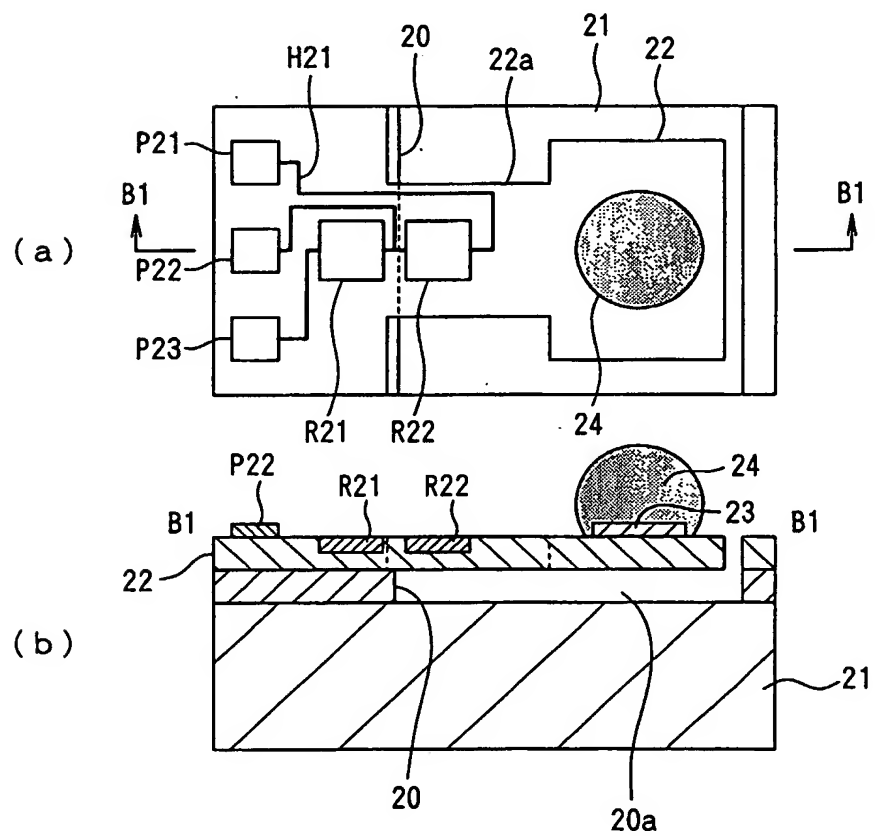


図 4 1

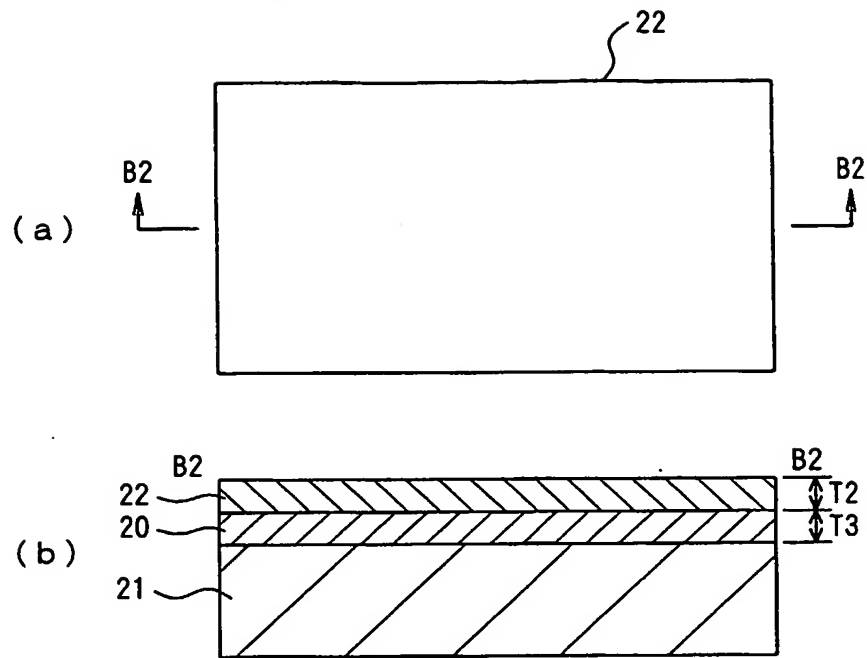


図 4 2

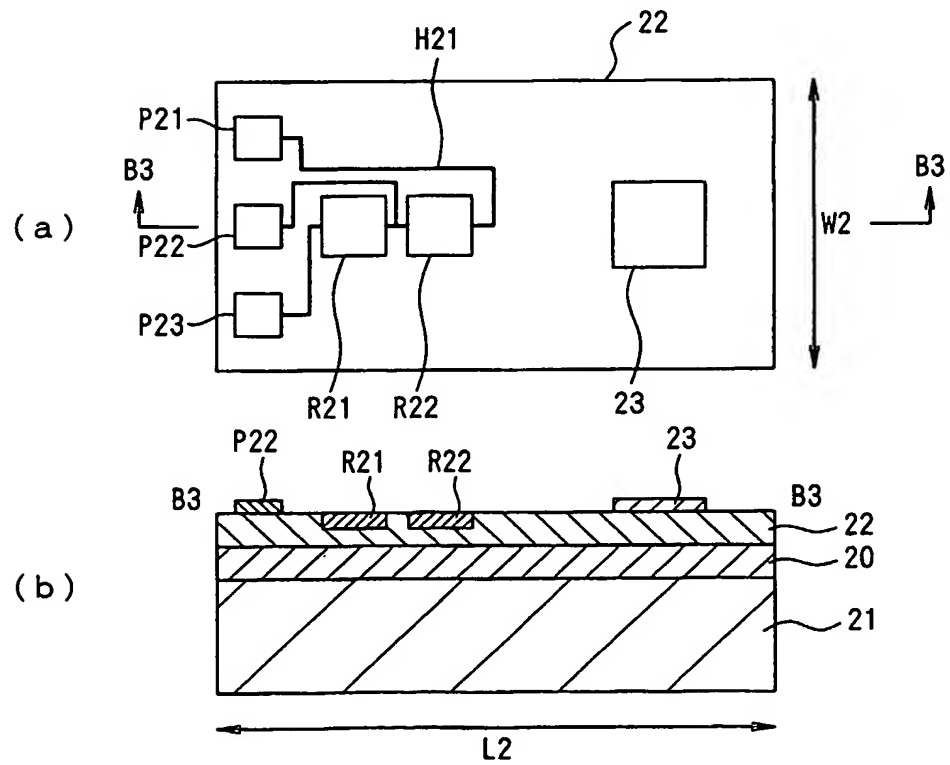


図 4 3

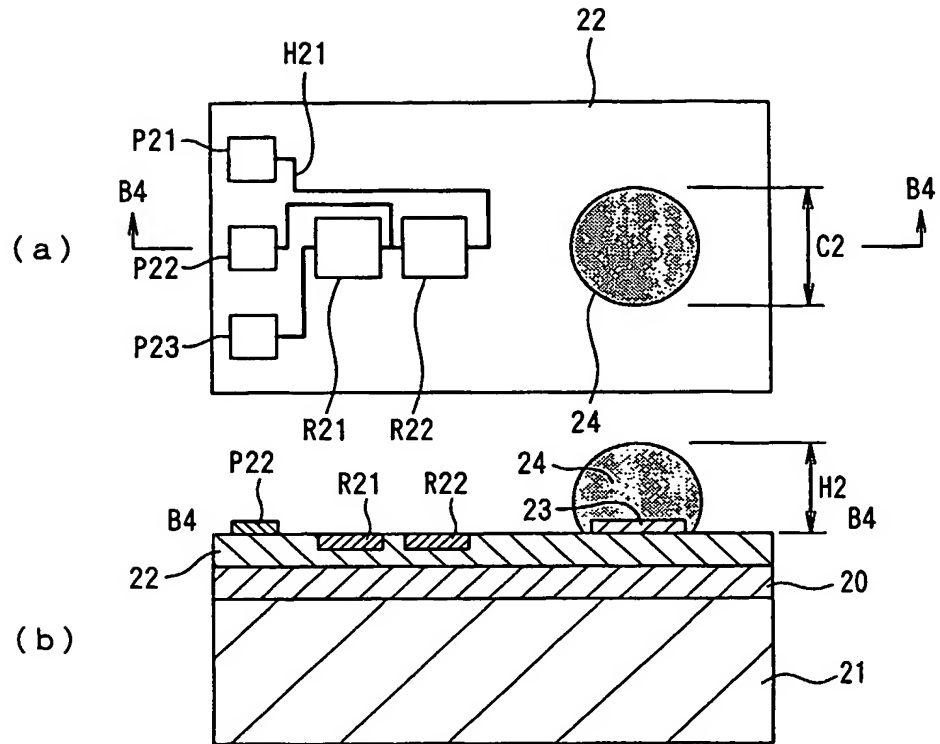


図 4 4

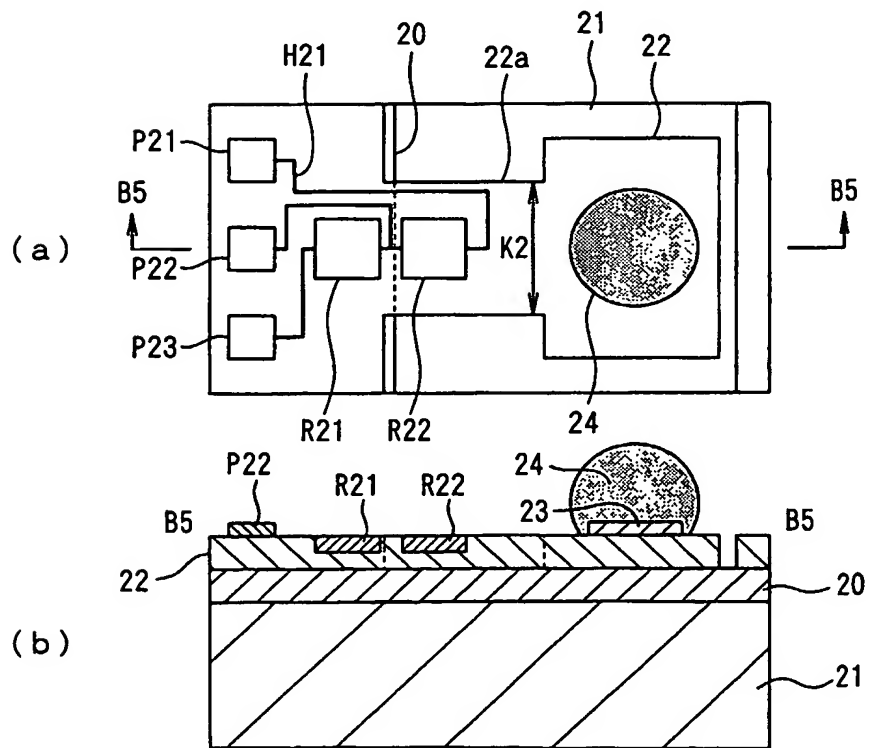
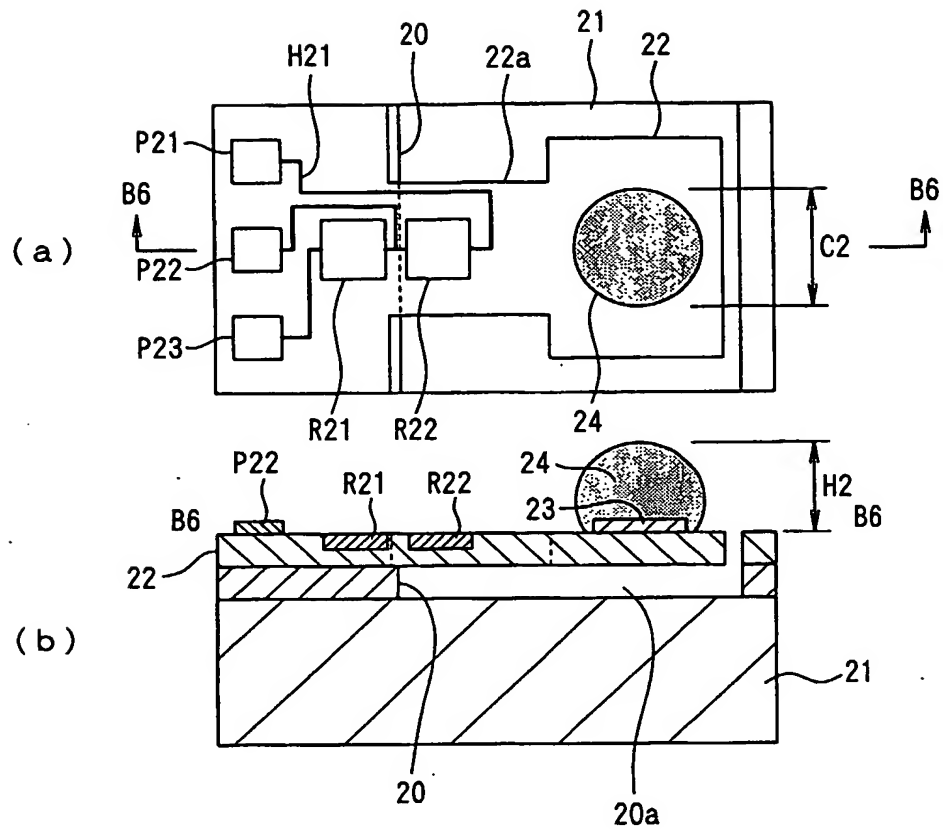


图 45



46

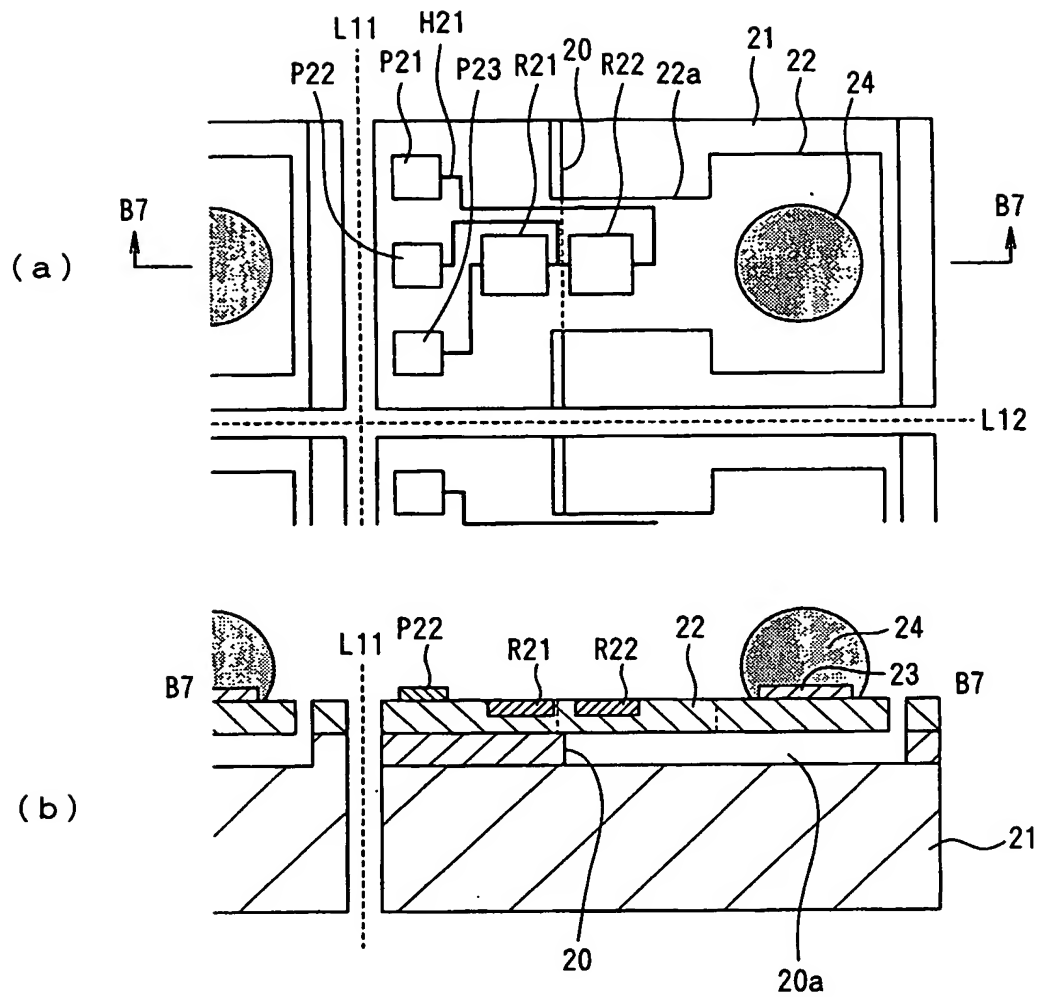


図 47

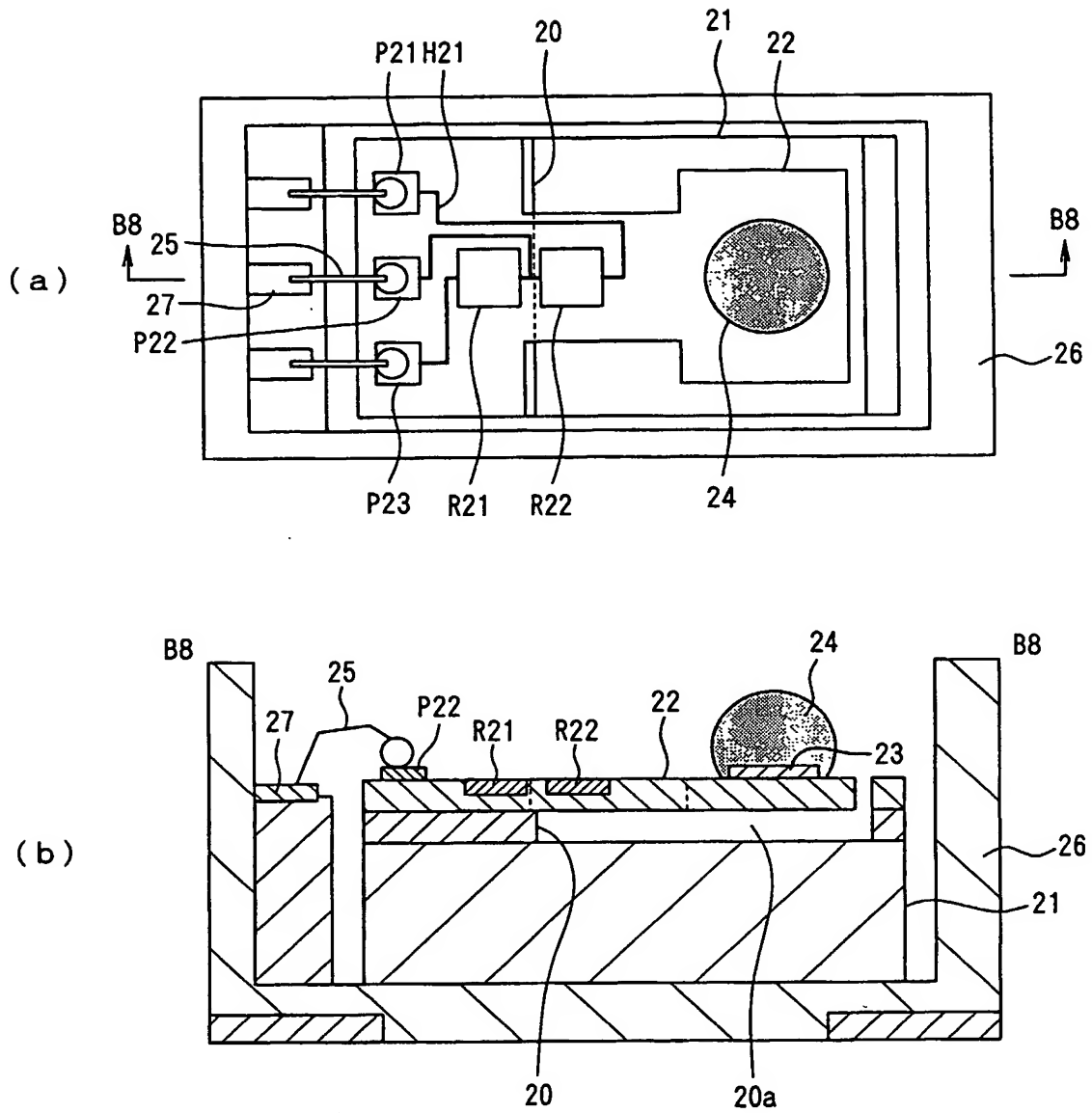


図 48

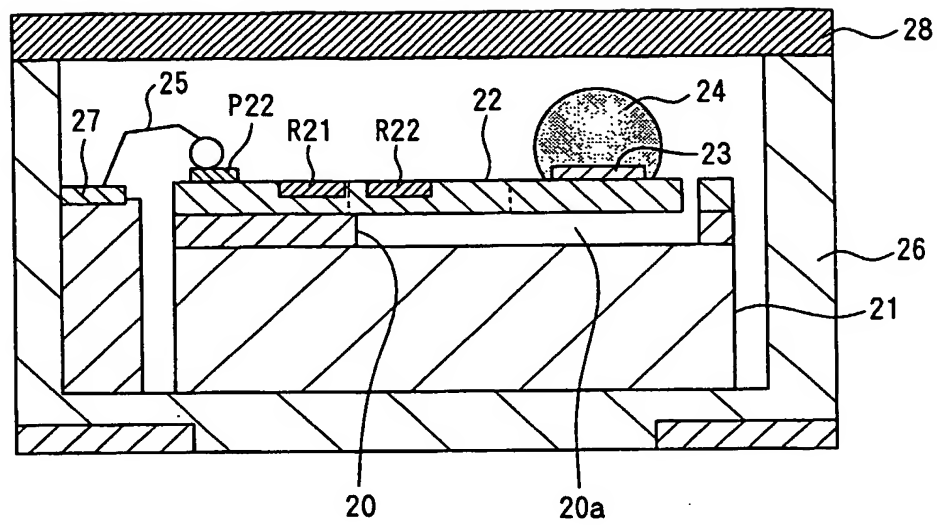


図 4 9

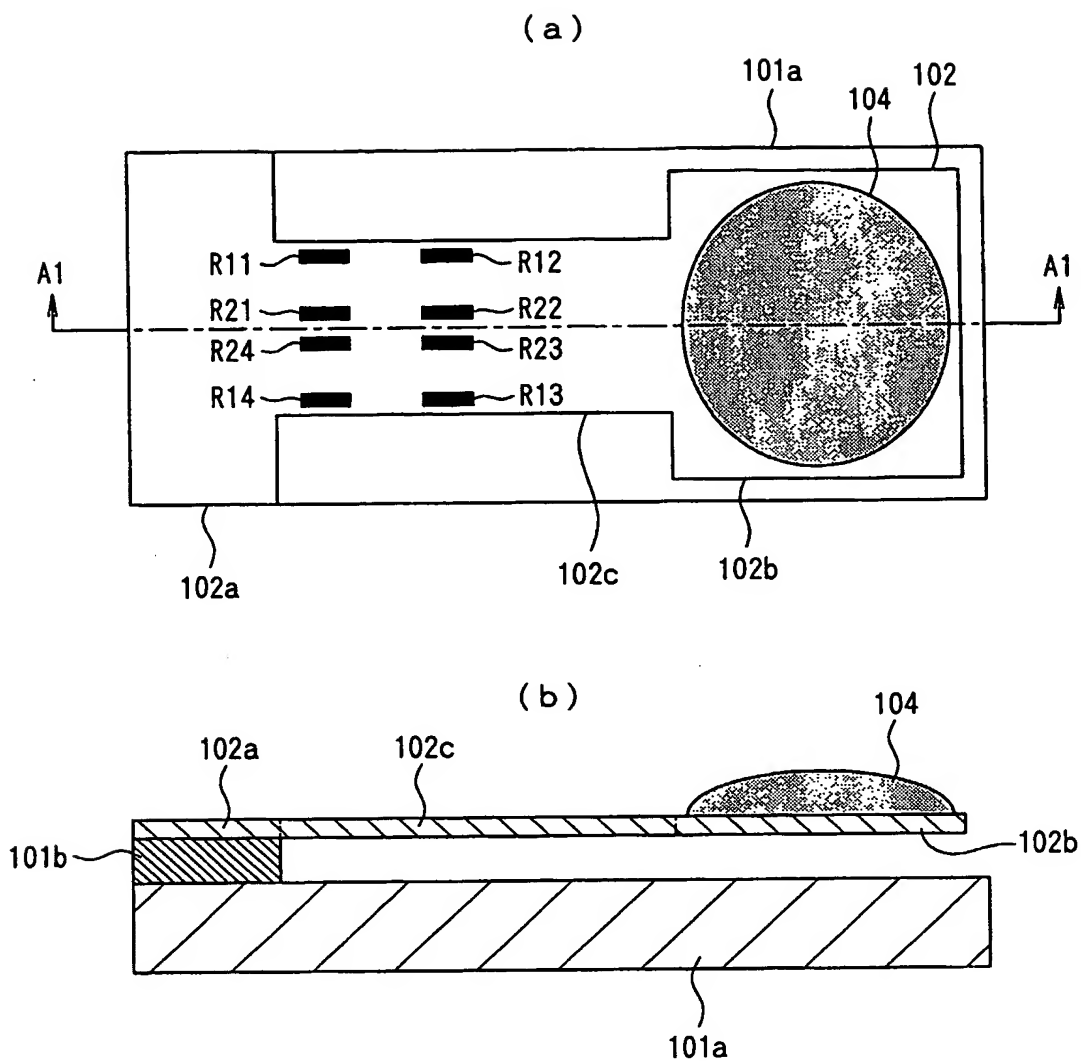


図 5 0

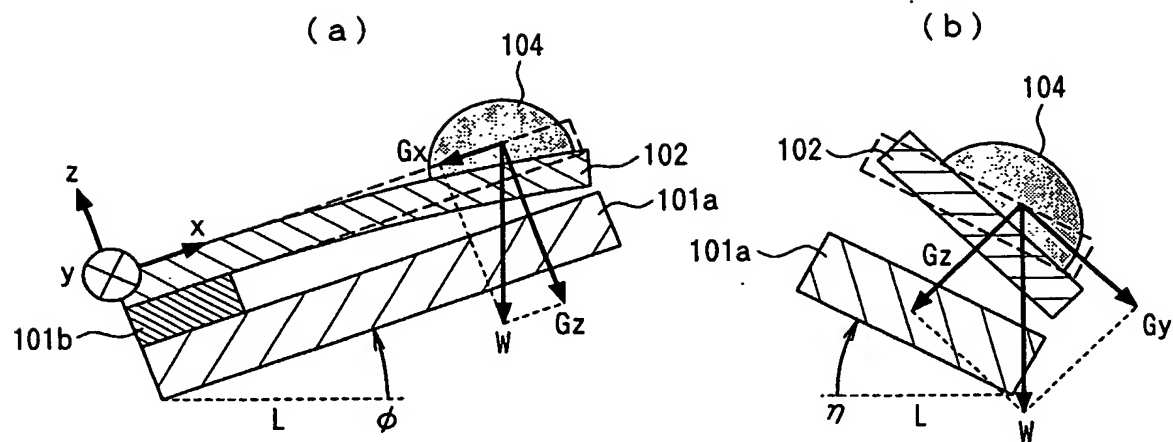


図 5 1

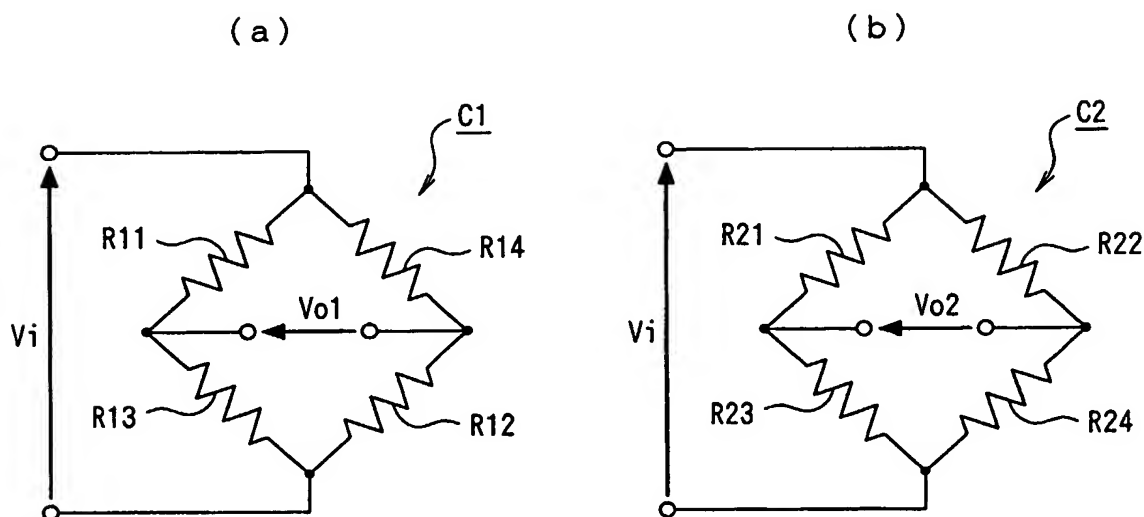


图 5 2

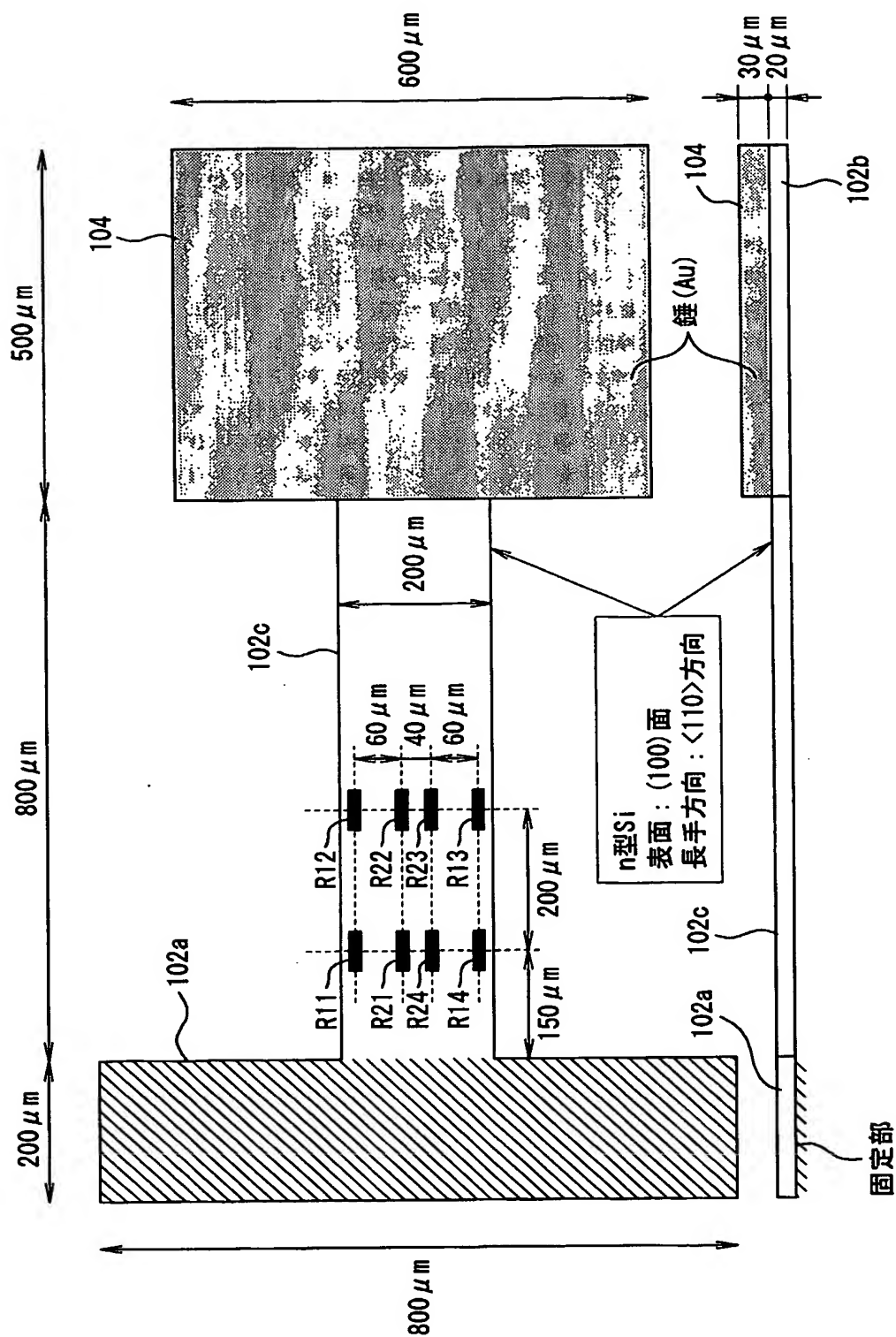


図 5 3

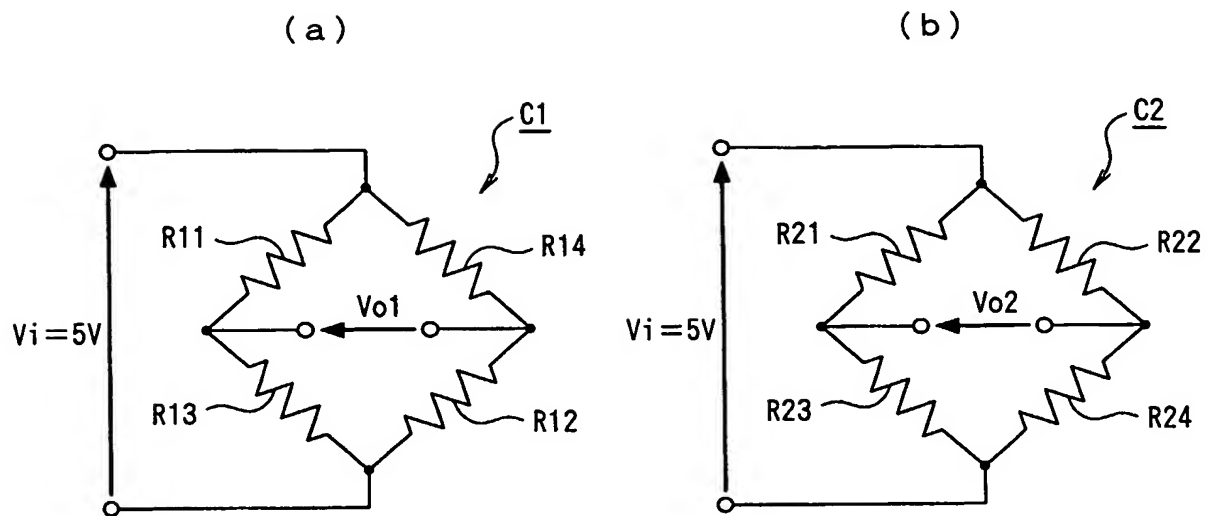
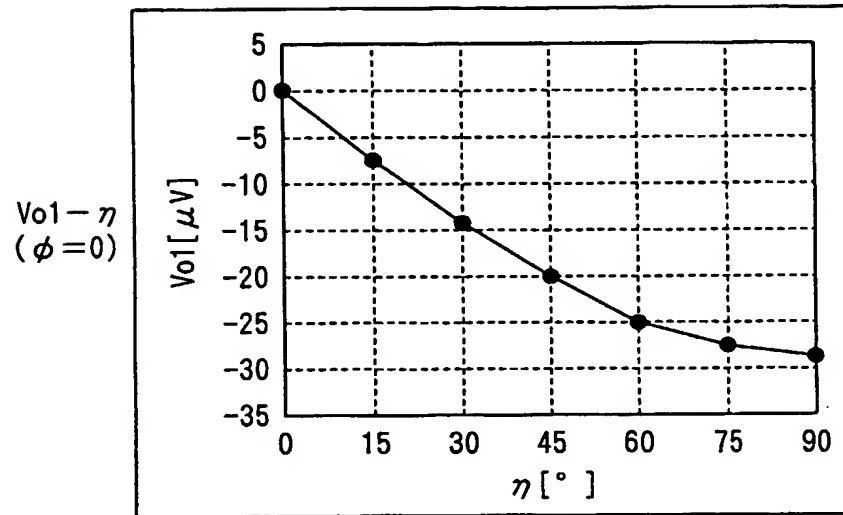


図 5 4

(a)



(b)

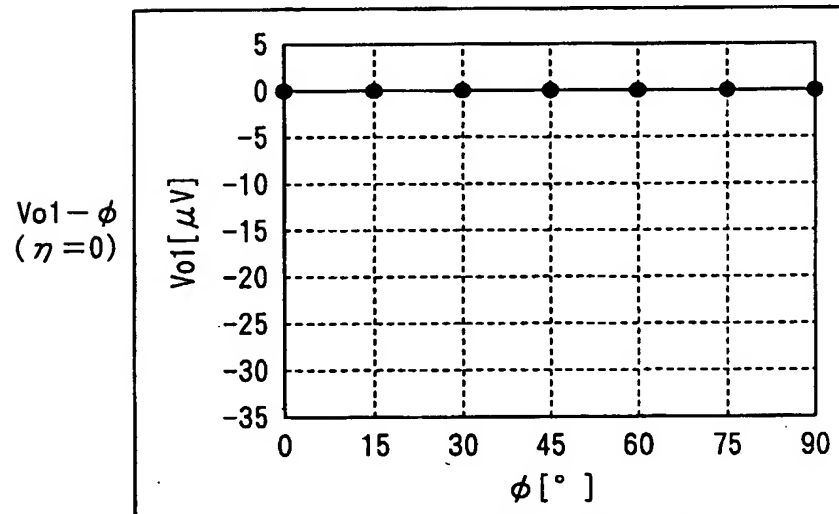
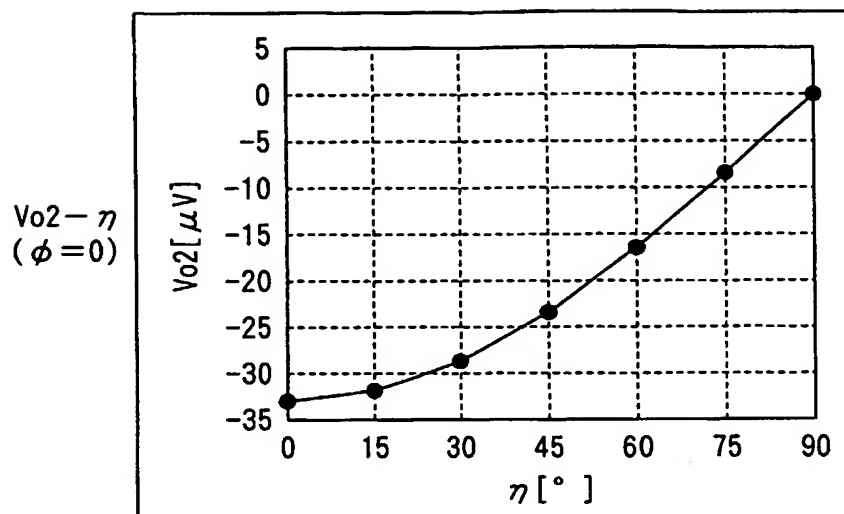


図 5 5

(a)



(b)

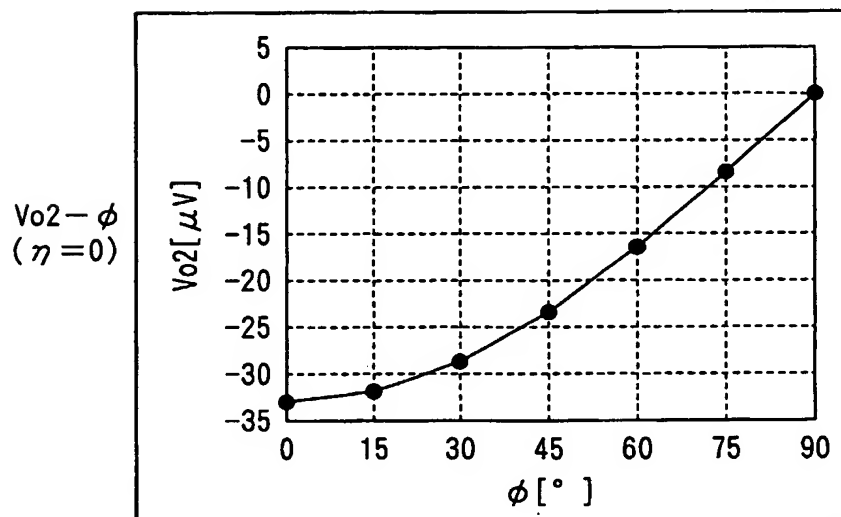


図 5 6

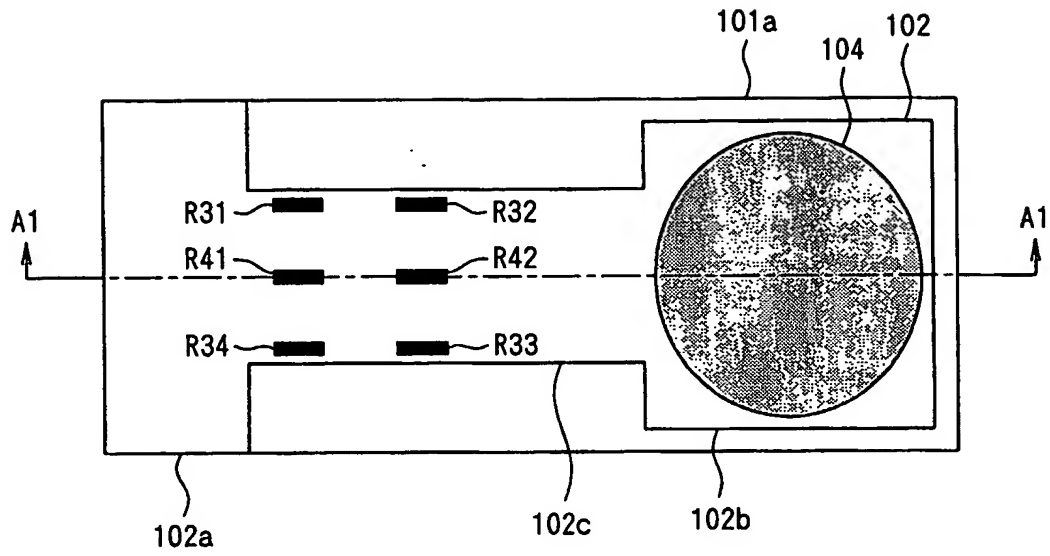


図 5 7

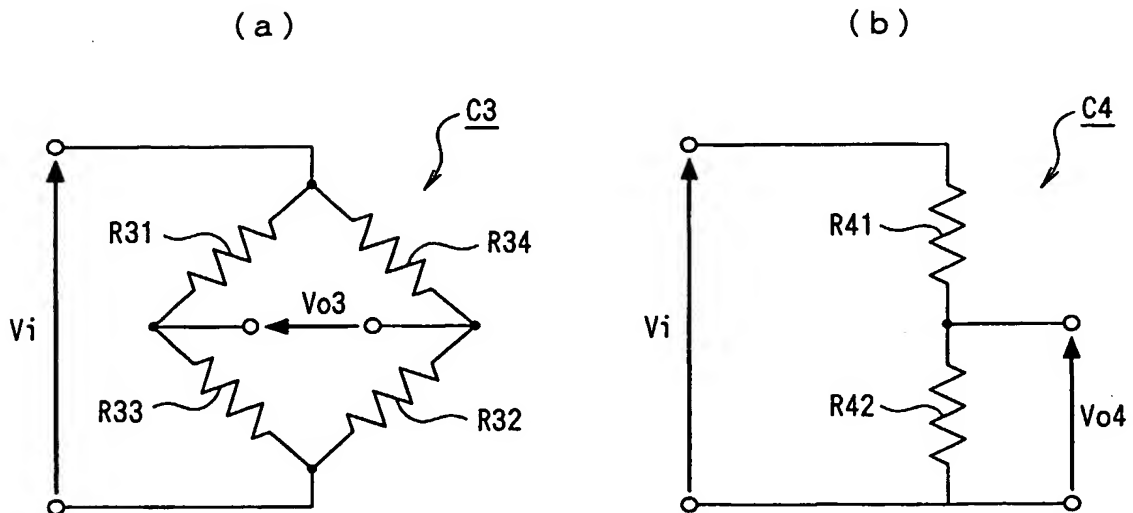


図 58

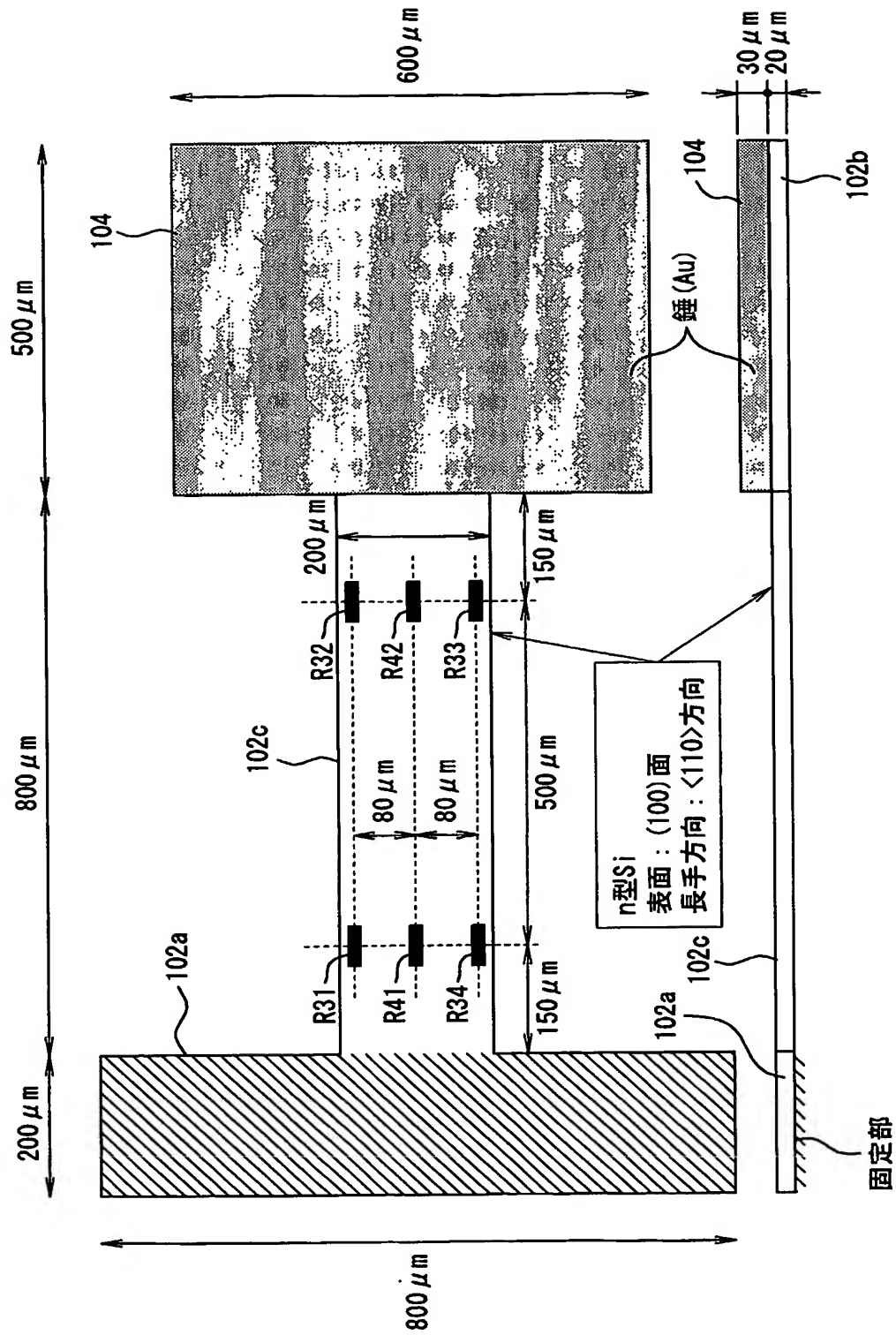


図 5 9

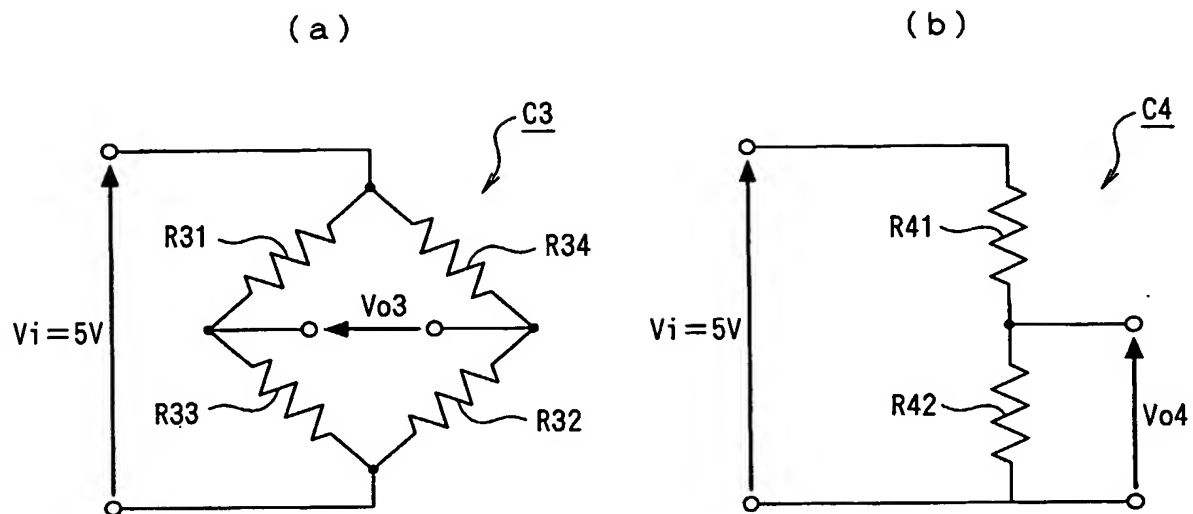
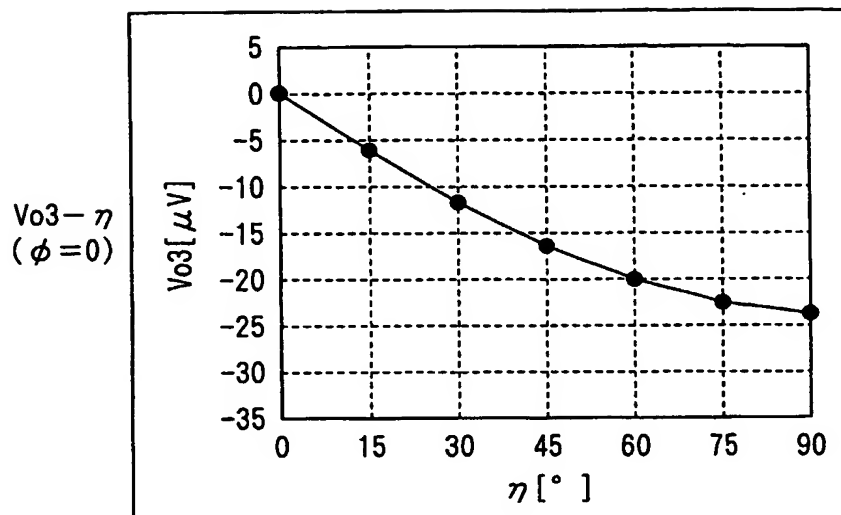


図 60

(a)



(b)

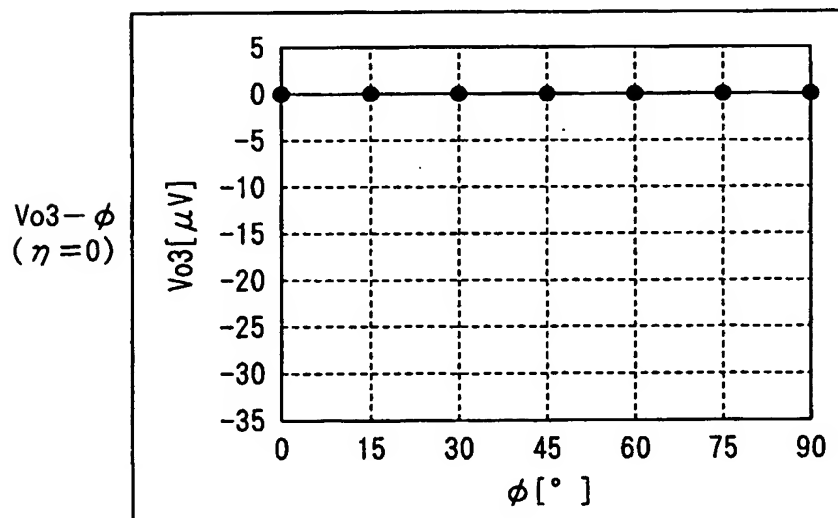
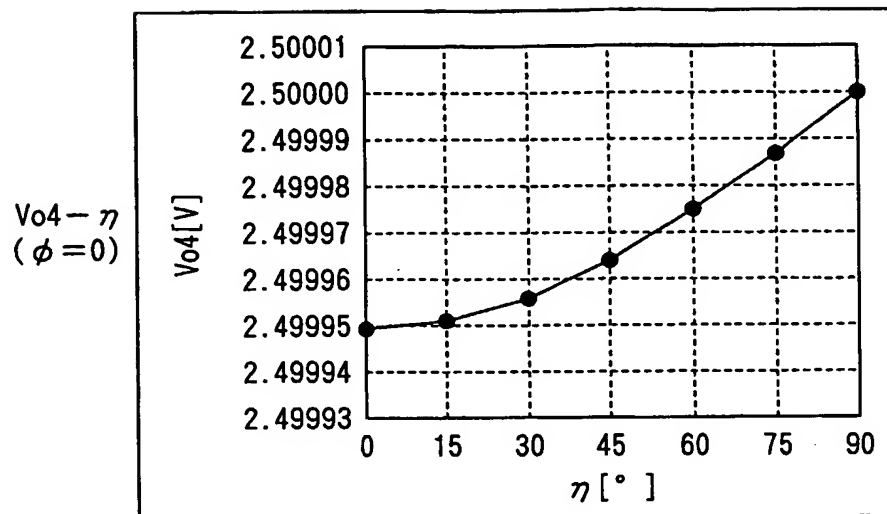


図 6 1

(a)



(b)

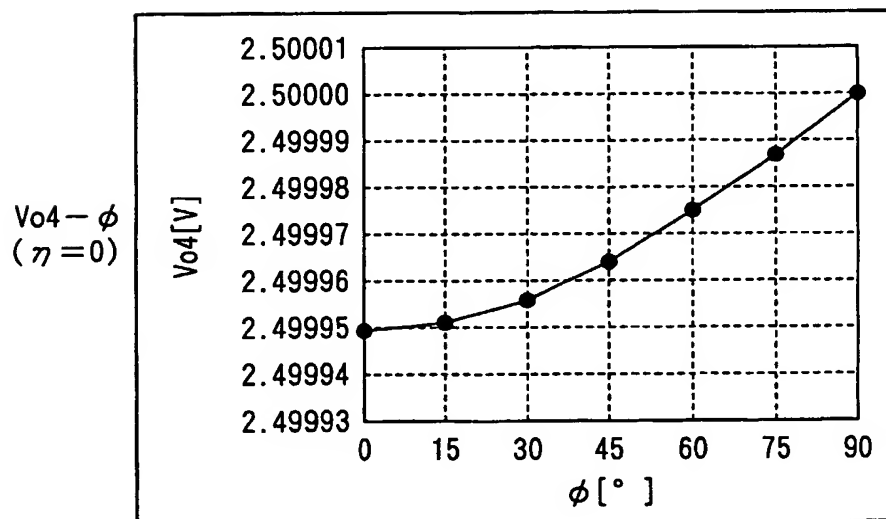


図 6 2

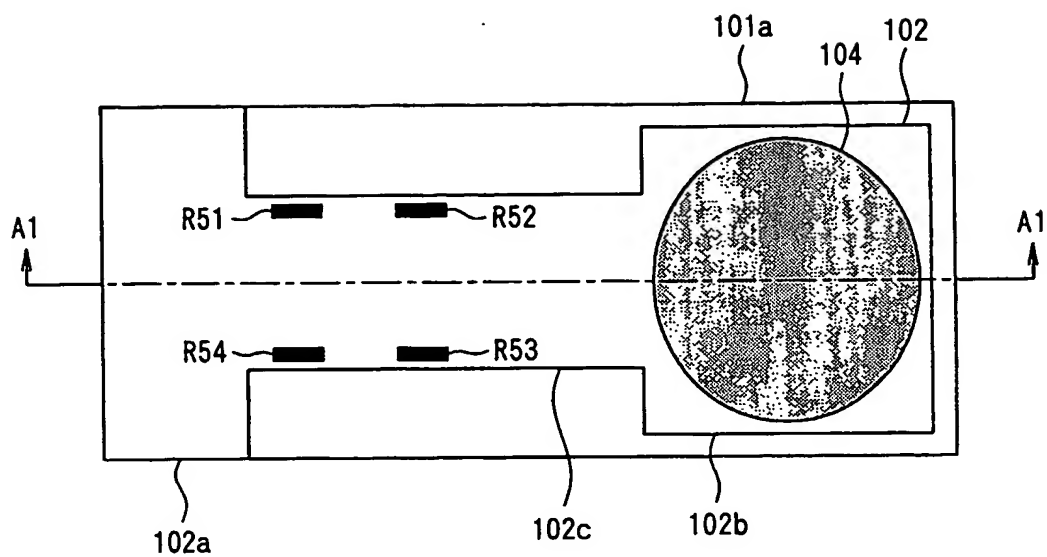


図 6 3

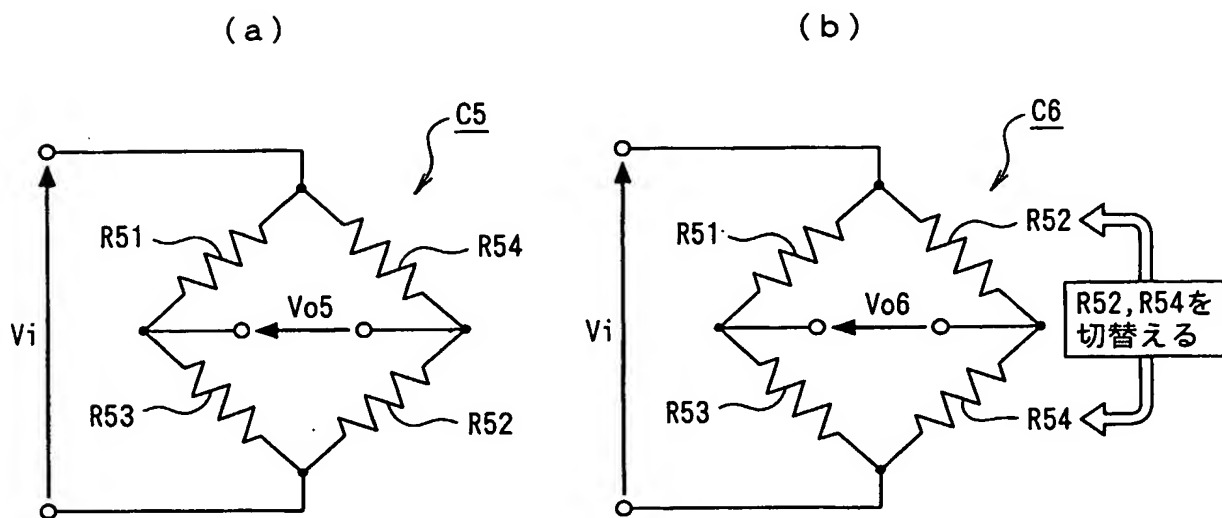


図 6 4

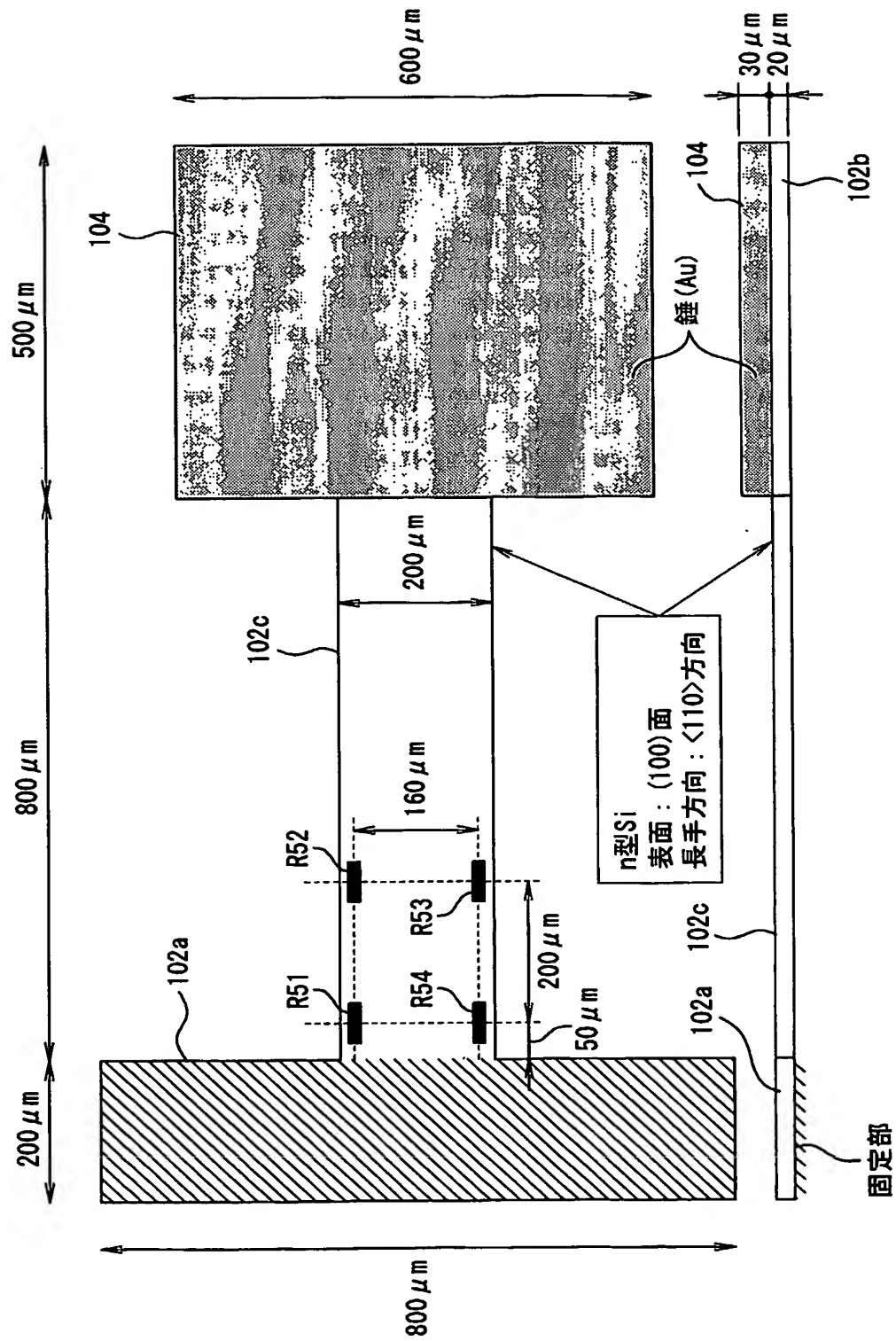


図 6 5

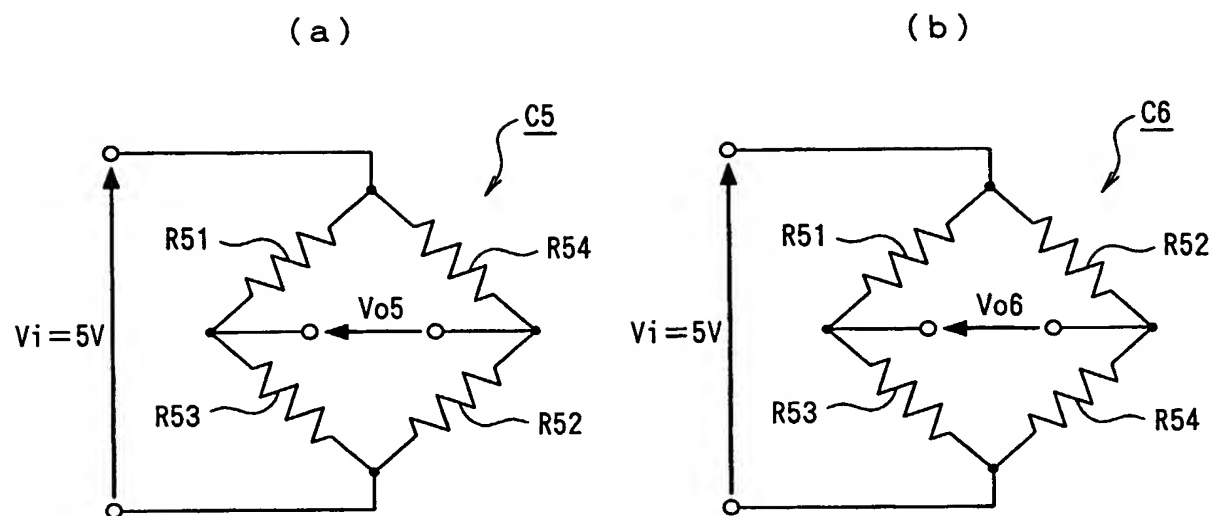
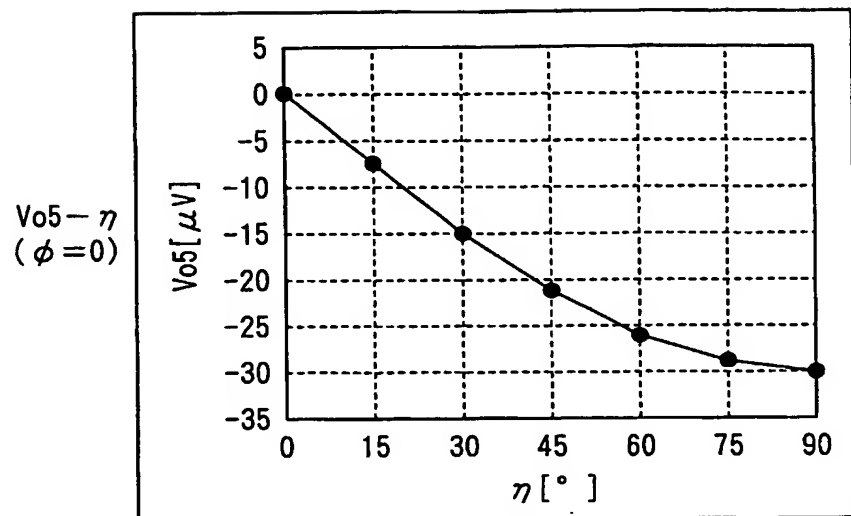


図 6 6

(a)



(b)

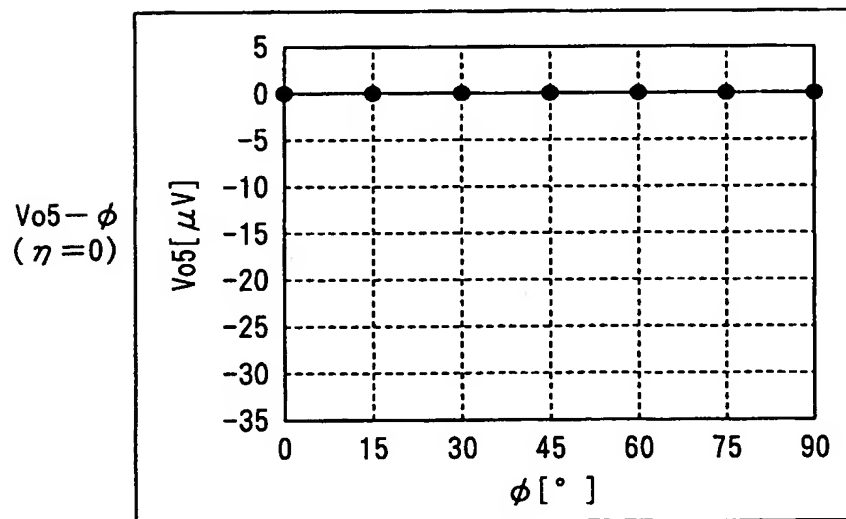
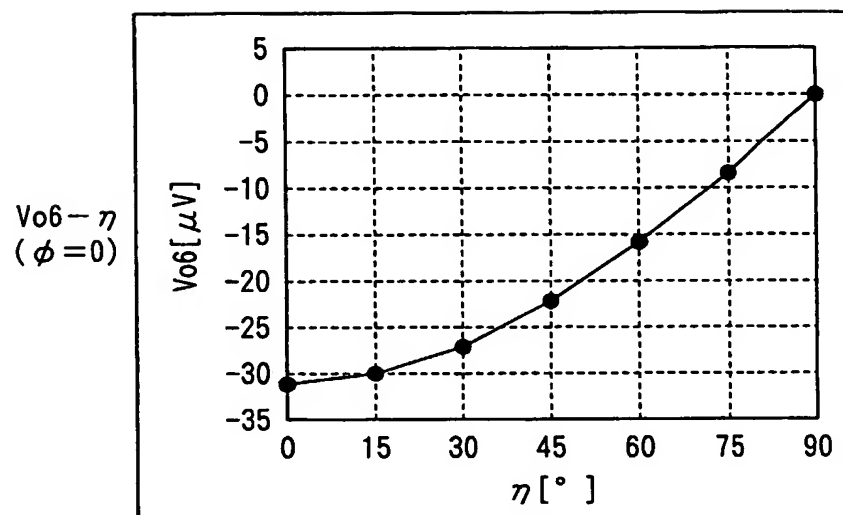


図 6 7

(a.)



(b.)

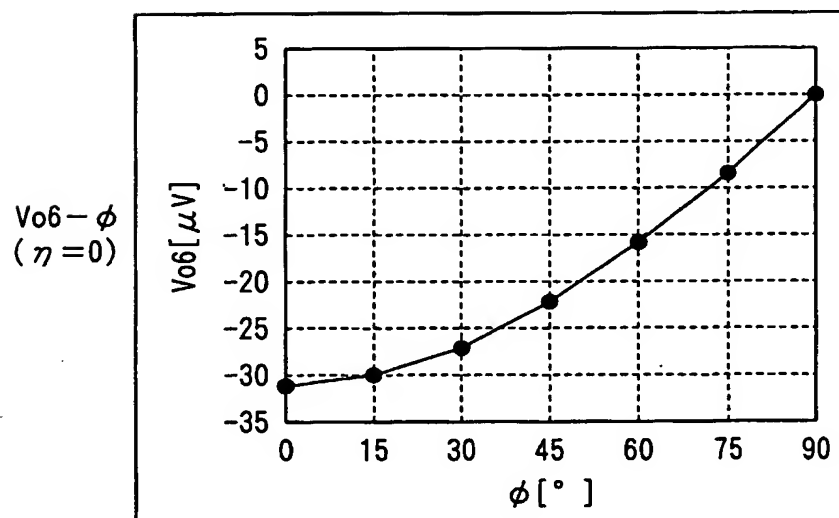


図 6 8

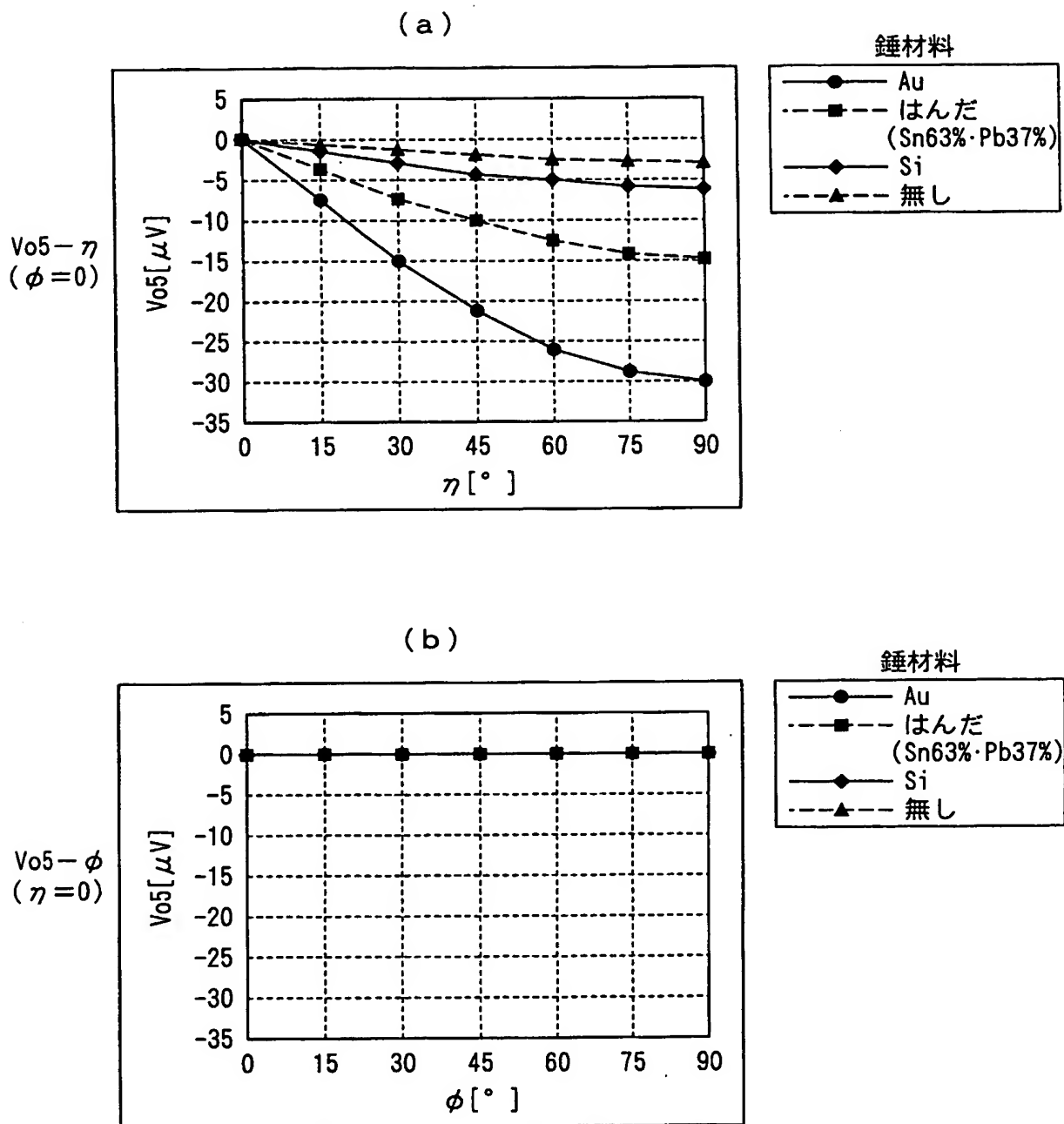


図 6 9

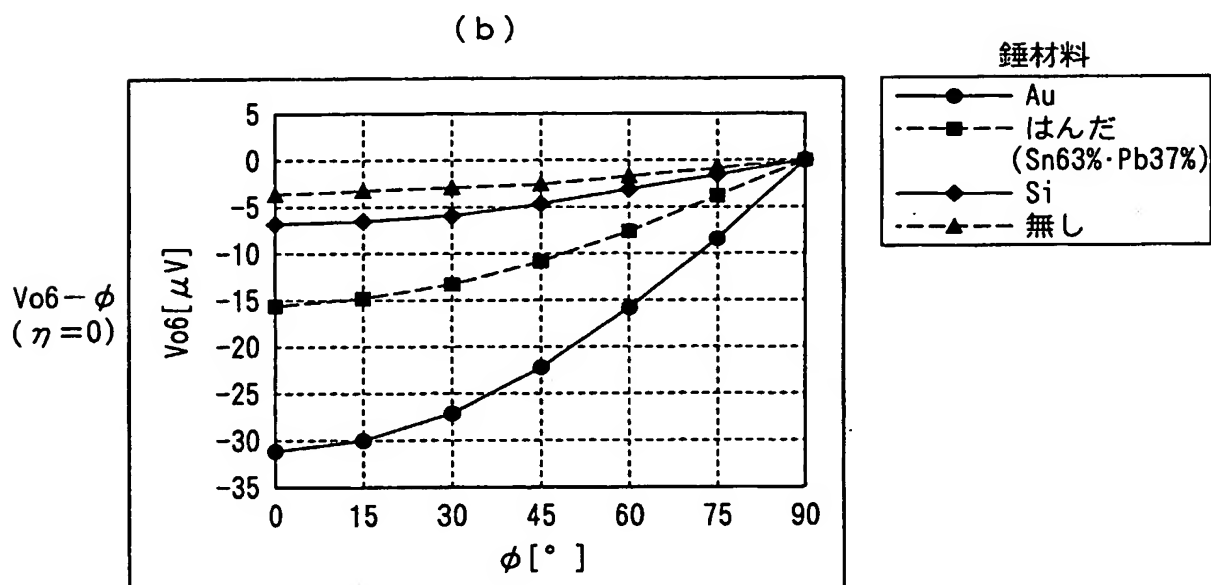
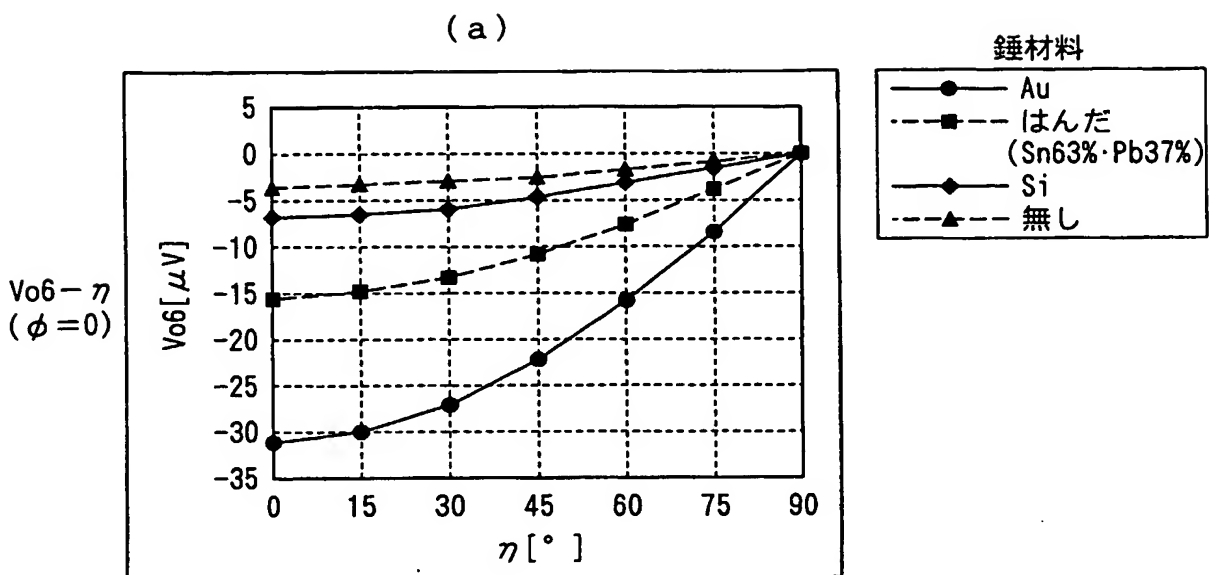


図 70

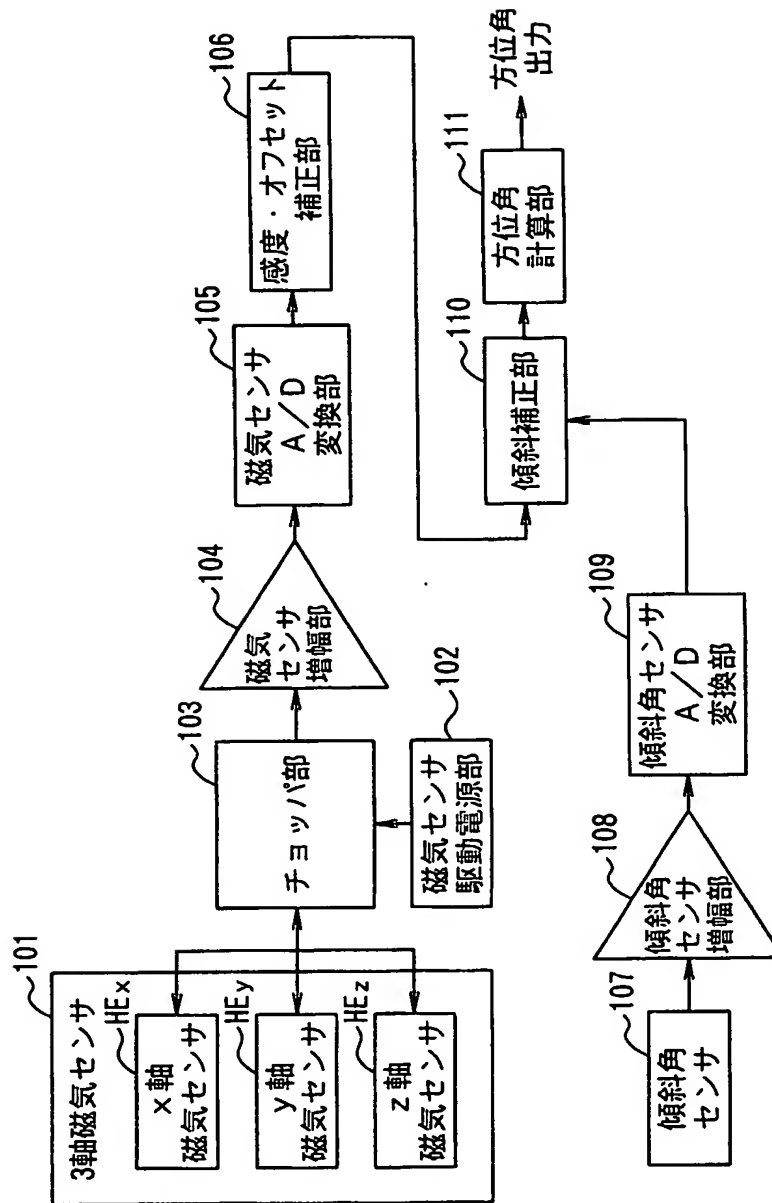


図 7 1

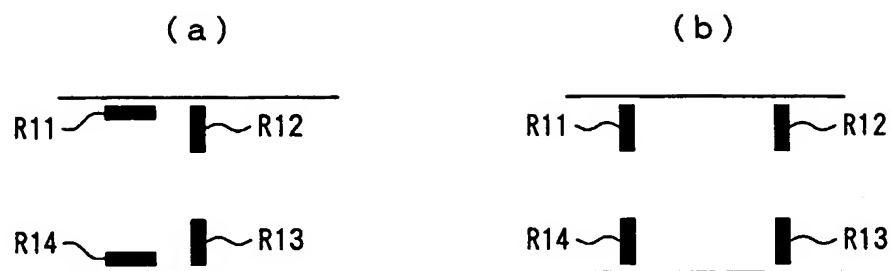


図 7 2

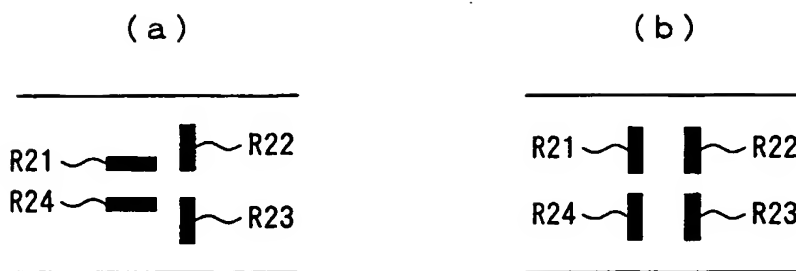


図 7 3



図 7 4

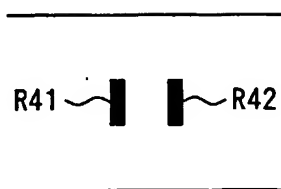


図 7 5

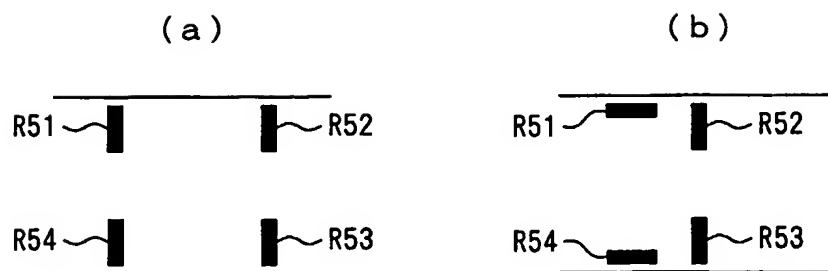


図 7 6

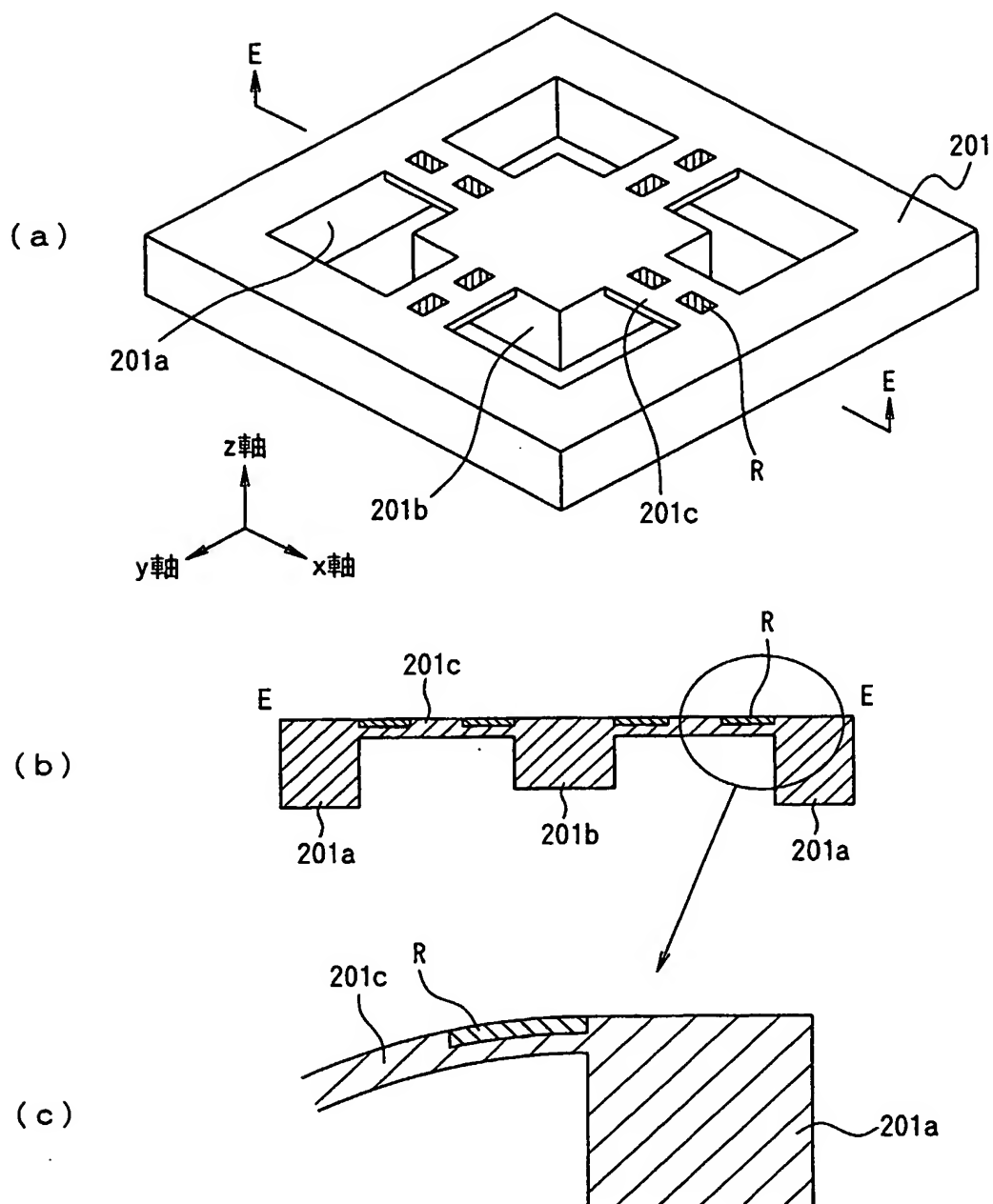
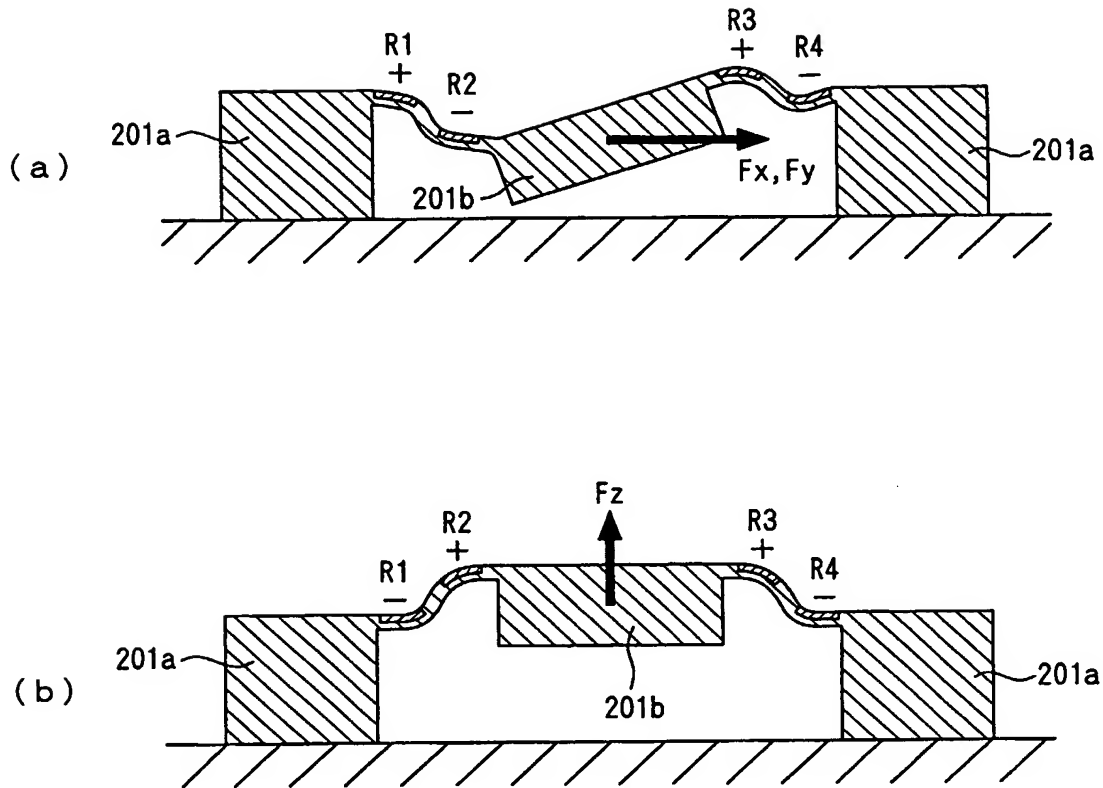


図 7 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/04235

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G01C9/06, H01L29/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G01C9/00, G01P15/00, H01L29/84

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 7-27785 A (Nitta Corp.), 31 January, 1995 (31.01.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-10 11-16, 20-22
X Y	JP 11-54478 A (Tokai Rika Co., Ltd.), 26 February, 1999 (26.02.99), Full text; all drawings (Family: none)	17-19, 23-30 20-22
Y	JP 11-311634 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 09 November, 1999 (09.11.99), Full text; all drawings (Family: none)	11-16, 20-22

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search
07 July, 2003 (07.07.03)

Date of mailing of the international search report
22 July, 2003 (22.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/04235

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-160067 A (Akebono Brake Industry Co., Ltd.), 21 June, 1996 (21.06.96), Full text; all drawings (Family: none)	23-28
A	JP 10-253656 A (Seiko Instruments R&D Center Inc.), 25 September, 1998 (25.09.98), Full text; all drawings (Family: none)	23-28
A	WO 98/55833 A1 (BIDE Stephen), 10 December, 1998 (10.12.98), Full text; all drawings & JP 2002-502499 A & US 2002/052684 A1 & GB 2325975 A & EP 986735 A1	29, 30

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01C9/06, H01L29/84

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01C9/00, G01P15/00, H01L29/84

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 7-27785 A (ニッタ株式会社) 1995. 01. 31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
Y		11-16, 20-22
X	J P 11-54478 A (株式会社東海理化電機製作所) 1999. 02. 26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	17-19, 23-30
Y		20-22

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 07. 03

国際調査報告の発送日

22.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福田 裕司



2S

3100

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-311634 A (日本航空電子工業株式会社) 1999. 11. 09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	11-16, 20-22
A	JP 8-160067 A (曙ブレーキ工業株式会社) 1996. 06. 21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	23-28
A	JP 10-253656 A (株式会社エスアイアイ・アールディセンター) 1998. 09. 25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	23-28
A	WO 98/55833 A1 (BIDE Stephen) 1998. 12. 10, 全文, 全図 & JP 2002-502499 A & US 2002/052684 A1 & GB 2325975 A & EP 986735 A1	29, 30